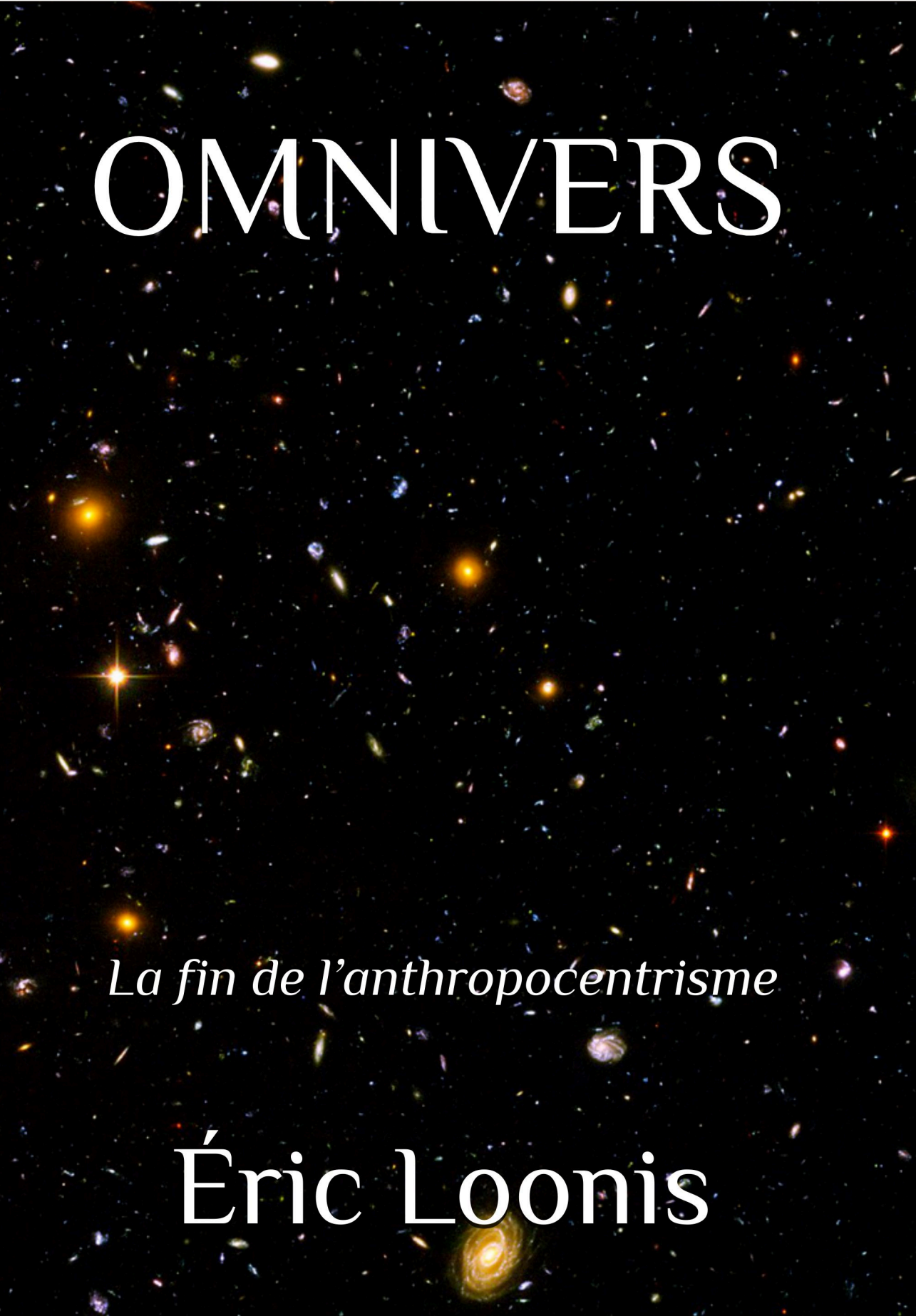
OMNIVERS
La fin de l'anthropocentrisme
Éric Loonis

Omnivers

Omnivers

La fin de l'anthropocentrisme

ÉRIC LOONIS

Copyright © 2026 Éric Loonis

Tous droits réservés.

ISBN : 9782493956118

Autres ouvrages de l'auteur

« L'infini n'est pas seulement l'instrument le plus puissant des recherches mathématiques, il est encore la raison même de l'existence de la science. »

Hippolyte Margerin

« Pour nous, physiciens convaincus, la distinction entre passé, présent et futur n'est qu'une illusion, même si elle est tenace. »

Albert Einstein

« Depuis la nuit des temps où nos ancêtres foulaient du pied la terre ferme, nous nous sommes sans cesse interrogés sur ce qu'est finalement la réalité, mettant en exergue des questions existentielles profondes. D'où proviennent toutes les choses ? Comment cela finira-t-il ? Quelle est la taille du cosmos ? »

Max Tegmark

TABLE DES MATIÈRES

Prologue 1

Première partie
LE CIEL INTERPRÉTÉ 7

1. Les cosmologies perceptives et symboliques 9
2. Les cosmologies hybrides 23
3. Les cosmologies intermédiaires 33
4. Les cosmologies théologiques relationnelles 45

Deuxième partie
LE CIEL MESURÉ 65

1. L'univers sidéral 67
2. L'univers de Hubble 87
3. L'univers en construction 99
4. Le nouveau ciel 111

Troisième partie
GÉOMÉTRIES ET TAILLES DE L'UNIVERS 125

1. Les géométries de l'univers 127
2. Les tailles de l'univers 143

Quatrième partie
LES MULTIVERS 149

1. L'univers-bloc 151
2. Les multivers par types 173

Cinquième partie
L'OMNIVERS 201

1. Des fractales à l'inflation 203
2. La fractale omniverselle 209

Sixième partie
DE L'ENTROPIE À LA CONSCIENCE 225

1. La biologie et la conscience 227
2. La conscience et l'entropie 235

3. Un univers d'illusions 257

Septième partie

LA FIN DE L'ANTHROPOCENTRISME 271

1. L'illusion anthropique 273

2. L'humain décentré 283

3. L'humain hors sens 289

4. Regarder par la fenêtre : une claustrophobie infinie.....293

Épilogue.....299

Remerciements 303

TABLE DES ILLUSTRATIONS 307

Crédit des illustrations.....313

Bibliographie 315

Prologue

Cet ouvrage traite des univers. Ils sont pluriels, car je les déclinerai selon les types de conception, les époques et l'avancée des sciences. Et, au-delà encore, je tenterai de définir ce que peut être un « omnivers », un « Grand Tout », comme le formule si bien un auteur d'envergure[1]. Pour ma part, j'entends par omnivers une tentative de définir une totalité à la fois spatiale, temporelle, mais aussi modale[2], au sens métaphysique du terme, dans le cadre du dialogue constant entre philosophes professionnels et physiciens.

Tout au long de cet ouvrage je tenterai de répondre à de nombreuses questions fondamentales : Comment l'univers a-t-il pu être d'abord interprété, avant que d'être mesuré ? Quelles sont les conceptions plurielles de l'univers en tailles et en géométries ? N'y a-t-il qu'un seul univers ? Peut-on envisager un multivers ? Des multivers ? Un omnivers ? Comment l'entropie peut expliquer la conscience et le libre arbitre et définir un univers d'illusions ? Comment un modèle de fractale omniverselle remet en question la centralité de l'humain et son existence même ?

La première partie de l'ouvrage, *Le ciel interprété*, explore les grandes cosmologies humaines avant l'avènement de la science moderne. Elle commence par les cosmologies perceptives et symboliques des peuples du monde, où le ciel n'est pas un objet d'étude mais un espace vécu, interprété et habité par des récits, des forces et des relations entre humains, nature et puissances invisibles. La seconde section examine l'émergence progressive de cosmologies théologiques et philosophiques où le cosmos devient un ordre rationnel et hiérarchisé. Se met alors en place une vision relationnelle de l'univers où la structure du ciel s'articule à des principes métaphysiques, théologiques ou mathématiques.

La deuxième partie, *Le ciel mesuré*, retrace le moment où le ciel devient un objet de mesure et d'observation systématique. L'humanité passe alors d'un cosmos symbolique à un univers

[1] Carroll, 2018 (toutes les références renvoient à la bibliographie).

[2] Lewis, 2007.

progressivement quantifié. La première étape correspond à l'univers sidéral de la Voie lactée, tel qu'il se révèle aux astronomes des 18e et 19e siècles. La seconde étape survient au début du 20e siècle avec l'avènement de l'astronomie extragalactique. Grâce au télescope Hooker et aux observations d'Edwin Hubble, les nébuleuses spirales se révèlent être des galaxies indépendantes, et l'univers se creuse soudain d'un espace peuplé de centaines de milliards de galaxies, en même temps qu'est introduite l'idée d'un univers en expansion. Enfin, la troisième étape décrit la cosmologie contemporaine, façonnée par les grands télescopes terrestres et spatiaux, par l'exploration de tout le spectre électromagnétique et par les instruments capables de sonder les structures profondes de l'espace-temps. L'univers apparaît alors comme un ensemble dynamique, statistique et structuré à grande échelle, où matière, rayonnement et géométrie cosmique s'entrelacent.

La troisième partie, *Géométries et tailles de l'univers*, examine la structure globale du cosmos telle qu'elle est décrite par la relativité générale et la cosmologie moderne. Elle s'ouvre sur la question de la géométrie de l'univers : les modèles issus des équations d'Einstein et des solutions de Friedmann permettent ainsi de concevoir des univers à courbure positive, nulle ou négative. Les observations contemporaines suggèrent toutefois que notre univers observable est très proche d'une géométrie plate, dans le cadre du modèle du *Big Bang* et de son évolution cosmique. La seconde section s'intéresse alors à la question de la taille de l'univers. Elle examine ce que signifie mesurer un univers dont seule une portion est accessible à l'observation, et distingue l'univers observable de l'univers total que décrivent les modèles cosmologiques. Cette réflexion conduit à confronter les limites de l'observation avec celles de la théorie, et à interroger la véritable extension du cosmos.

La quatrième partie, *Les multivers*, marque un élargissement décisif de la réflexion cosmologique. La question de l'univers se déplace vers la possibilité qu'il ne soit qu'un élément d'un ensemble plus vaste. La première section introduit la notion d'univers-bloc issue de la relativité, où l'espace et le temps forment une structure quadridimensionnelle dans laquelle les événements sont inscrits comme des lignes d'univers. Cette représentation conduit à confronter deux conceptions philosophiques du temps, le présentisme et l'éternalisme, et à examiner les implications

ontologiques d'un univers où passé, présent et futur coexistent dans la géométrie de l'espace-temps. Dans ce cadre déterministe, la figure de la « démone de Laplace » permet d'explorer concrètement cet univers-bloc pour en comprendre les principes. La seconde section élargit encore la perspective en examinant les différents types de multivers proposées par la cosmologie contemporaine. À partir de la distinction entre répétition du même[3] et multiplication du possible[4], elle présente une grande typologie des multivers : mathématique ; inflationnaire global ; spatial ; et quantique modal[5]. Cette partie montre comment la cosmologie moderne en vient à envisager que notre univers ne soit qu'un parmi une pluralité de mondes possibles.

La cinquième partie, *L'Omnivers*, introduit l'hypothèse centrale de l'ouvrage en franchissant une étape supplémentaire au-delà des multivers. Elle commence par un rapprochement entre les structures fractales et les modèles inflationnaires de la cosmologie contemporaine. L'idée d'inflation éternelle, qui conduit déjà à la production potentiellement illimitée d'univers, se trouve alors mise en relation avec la logique des fractales. À partir de ce rapprochement émerge une nouvelle manière de penser l'ensemble cosmique : non plus comme une simple collection d'univers séparés, mais comme une organisation hiérarchique et dynamique où les univers se déploient selon une structure fractale. La seconde section développe cette hypothèse en présentant la fractale omniverselle elle-même. Le passage d'une vision hiérarchique du cosmos à une organisation fractale permet de concevoir un ensemble où les univers et multivers se multiplient, se ramifient et s'imbriquent selon des régularités structurelles. La fractale devient alors un modèle permettant de représenter l'ensemble du paysage cosmique. L'hypothèse des univers contigus vient enfin compléter cette construction en proposant d'expliquer matière noire et énergie sombre par les possibles influences entre univers au sein de cette structure globale. L'Omnivers apparaît ainsi comme l'horizon ultime de la réflexion cosmologique développée dans l'ouvrage : une architecture fractale de l'ensemble des multivers.

[3] Blanqui, 2012.

[4] Lewis, 2007.

[5] Adaptée de Tegmark, 2014.

La sixième partie, *De l'entropie à la conscience*, se tourne vers l'émergence de la conscience elle-même. Elle commence par interroger la place de la biologie dans ce processus et la difficulté de situer la conscience dans l'organisation du vivant. La seconde section examine alors le lien entre conscience et entropie. En s'appuyant sur la physique statistique et sur les réflexions contemporaines autour du temps et de l'irréversibilité, elle explore l'idée selon laquelle notre expérience du monde dépend étroitement du gradient entropique de l'univers. À travers la figure de la « démone » de Laplace et celle du « zombi » philosophique, cette section met en lumière le caractère profondément paradoxal de la conscience : un phénomène enraciné dans des processus physiques, mais porteur d'une illusion d'autonomie. La dernière section approfondit cette perspective en examinant une série d'illusions constitutives de notre expérience du réel. L'ensemble de ces illusions, cérébrales et relativistes, conduit à une remise en question radicale de l'idée selon laquelle la conscience offrirait un accès direct au réel. Cette partie montre ainsi comment l'expérience subjective humaine s'inscrit dans un univers physique gouverné par l'entropie et comment, à partir de ce cadre, se construit ce que l'on peut appeler le mythe de la conscience.

La septième et dernière partie, *La fin de l'anthropocentrisme*, tire les conséquences philosophiques du parcours cosmologique développé dans l'ouvrage. Après avoir élargi progressivement notre compréhension du cosmos, la question se pose désormais de la place réelle de l'être humain dans cet ensemble. La première section examine l'illusion anthropique, c'est-à-dire la tendance persistante à considérer que l'univers serait, d'une manière ou d'une autre, destiné à l'être humain. Cette interprétation est confrontée aux cadres cosmologiques contemporains qui montrent que l'existence humaine ne constitue ni une finalité ni une nécessité dans l'histoire du cosmos. La seconde section explore alors la figure de l'humain décentré. L'humanité apparaît comme une configuration locale de matière organisée, apparue dans une région particulière de l'univers et à un moment extrêmement tardif de son évolution. L'idée d'une centralité humaine se dissout dans l'immensité cosmique, et la conscience elle-même devient un phénomène contingent, inscrit dans les structures physiques de l'univers. La troisième section radicalise cette perspective en aboutissant à l'idée que, dans cet ensemble sans finalité, l'humain est, bel et bien, hors sens. La

dernière section propose une méditation finale autour de la métaphore d'une fenêtre ouverte sur l'infini. En contemplant le paysage cosmique que révèle la cosmologie contemporaine, l'humanité découvre une situation paradoxale, l'oxymore d'une claustrophobie infinie. La fractale omniverselle constitue le tout dans lequel nous sommes enfermés, sans extérieur possible, mais ce tout lui-même se déploie sans limite. Dans cet horizon cosmique sans centre ni finalité, la place de l'humain se révèle avec une clarté radicale comme néant.

D'OÙ VIENNENT CE LIVRE ET SON AUTEUR

J'ai été agréablement étonné de découvrir au fil de mes studieuses lectures, destinées à documenter et préparer cet ouvrage, qu'un modeste architecte s'était fendu d'un « Anti-dictionnaire de physique »[6]. Il est vrai que depuis toujours, physique et cosmologie sont marquées de philosophie et de passion intellectuelle, de sorte qu'il n'est nul besoin d'être un fort en équations pour pouvoir s'y adonner. Certes, si l'on veut être un auteur sérieux, des années de lectures et de réflexions sont nécessaires pour bâtir son expertise. On devient alors l'un de ces amateurs éclairés qui croisent, parfois, les vrais professionnels de la science.

Pour ma part, je ne suis ni physicien, ni astronome, ni même fort en équations, mais psychologue clinicien, assorti d'un titre de docteur en psychopathologie, ce qui veut dire que j'ai aussi appris la méthode scientifique, me permettant de faire la différence entre les élucubrations et le vrai discours de la science. Ainsi, tout cet ouvrage, à propos de l'Omnivers, sera-t-il irrigué de science.

Au risque du poncif, mon intérêt pour la chose cosmologique remonte à l'enfance. Je devais avoir neuf-dix ans, lorsque mes parents furent convoqués dans la charmante petite école « des bonnes sœurs » où je terminais mon cursus primaire. Le motif ? Une rédaction, « sujet libre », dont j'étais l'intrépide auteur. À partir de la fascination que suscitait déjà en moi la compétition entre Russes et Américains pour l'orbite terrestre, sans parler des *Tintin et Milou* sur la Lune, j'avais développé dans ma rédaction, l'histoire originale d'un astronaute qui s'élance à bord d'une fusée, se pose sur la Lune, puis sur Mars, puis rejoint les étoiles, va bien au-delà, à l'infini déjà,

[6] Vegro, 2016.

atteint le Paradis, rencontre quelques anges, mais pas Dieu, car Il était trop occupé, et qui revenait sur Terre, raconter son histoire à des journalistes. Cela avait de quoi impressionner ces chères bonnes sœurs qui me faisaient catéchisme. J'étais là, avec mes parents, qui ont expliqué que « tout vient de lui », « il a tout inventé », « nous, vous savez… on croit un peu, mais sans plus ! » L'affaire en resta là, pour ce qui concerne l'école. Mais mon intérêt pour la chose cosmologique se poursuivit.

À l'adolescence, ma famille vivait isolée en bordure de forêt, à des kilomètres du village le plus proche. Un milieu modeste, avec une mère au foyer et un père garde forestier. La bibliothèque familiale brillait par sa frugalité : vingt volumes d'une encyclopédie des années 50, une sélection du *Reader's Digest*, un bottin jauni, un missel de communiant, une Bible double testaments, des albums photos et… un Petit Larousse ! Un dictionnaire illustré avec lequel je tentais de compenser mon dénuement culturel, en le lisant systématiquement, de A à Z, alternant chaque jour les parties noms communs et noms propres, sans oublier les locutions latines en pages roses ! À l'intérieur des couvertures, j'y notais des mots rares (éponyme, oxymore, mithridatiser…), que j'apprenais et d'autres que j'inventais (proctosome, orchidoclaste…), exerçant mon étymologie, et j'y tombais amoureux du portrait de Madame Rimsky Korsakov.

N'ayant que ma propre personne comme interlocuteur intellectuel, au cours de mes randonnées, quasi quotidiennes, je peuplais mes nombreuses méditations sylvestres de réflexions sur le sens de la vie, l'univers, sa genèse et son devenir. C'était pour moi un impératif existentiel, surtout depuis que j'avais compris, quoiqu'encore confusément, l'inanité des relations humaines.

C'est aussi à cette époque qu'un oncle se prit à m'offrir, une fois l'an, les douze numéros du magazine *Science & Vie* de l'année écoulée. Je passais alors de merveilleuses semaines à les dévorer, ne manquant aucun des articles touchant le cosmos, les astres et les projets de voyage spatial, tout en me formant, en douceur, aux sciences. Une formation scientifique autodidacte, donc, que j'ai enrichie tout au long de ma vie d'adulte. Voilà, en quelques mots d'où viennent ce livre et son auteur. Un livre que j'ai voulu… plus grand que l'univers !

Première partie

LE CIEL INTERPRÉTÉ

1. Les cosmologies perceptives et symboliques

Faute d'écrits, nous n'en saurons jamais rien. Pour autant, le bon sens lui-même nous suggère que les hommes préhistoriques ont très certainement dû lever le nez aux étoiles. Un spectacle impressionnant, fascinant, qu'ils se sont mis à observer et, peut-être déjà, à interpréter.

Depuis les mythes les plus anciens jusqu'aux modèles cosmologiques les plus récents, l'humanité n'a cessé d'interroger ce qui l'entoure, non seulement pour comprendre le monde, mais pour y situer son existence. Chaque époque, chaque culture, chaque science, a projeté dans le ciel sa propre manière d'être au réel.

La science moderne poursuit cette quête, mais la transforme encore. Einstein fait de l'espace-temps un tissu souple où la gravité n'est plus force, mais géométrie. L'univers cesse d'être stable : il se dilate, évolue, vieillit. Le *Big Bang* remplace la Création. La mécanique quantique révèle un monde de superpositions, d'incertitudes, d'états multiples, ouvrant la porte à l'idée de multivers. Aujourd'hui, les modèles inflationnaires de la genèse des univers, les théories de la gravité quantique, les hypothèses sur la matière noire et l'énergie sombre, prolongent ce renversement : le réel n'est plus un modèle unique interprété et comme imposé par les hommes, mais un modèle pluriel, observé et calculé.

Les philosophies antiques et médiévales font passer le monde de la parole au concept. En Grèce, Platon et Aristote voient déjà le cosmos comme un ordre rationnel, une entité vivante, animée par une âme ou un principe premier. L'univers devient un système de causes, où la raison divine ou naturelle remplace la volonté des dieux. En Inde, en Chine, dans le monde islamique, on pense également la cyclicité du temps et la structure hiérarchisée du ciel, mais selon des logiques d'harmonie plutôt que de domination. Avec Copernic, Kepler et Galilée, la Terre perd sa place centrale, et Newton parachève cette révolution : l'univers est désormais un espace mécanique, régi par des lois universelles. La cosmologie devient physique.

Deux remarques préalables : tout d'abord, la bibliographie étant déjà suffisamment abondante, nous avons décidé d'épargner aux

lecteurs les références ethnologiques consultées, mais qui ne sont visiblement pas au cœur de cet ouvrage ; enfin, les différentes informations concernant les cosmologies autochtones sont évidemment précoloniales. Nous verrons un peu plus loin comment elles ont pu parfois s'hybrider avec les cosmologies modernes occidentales.

Les Inuit (Arctique circumpolaire)

La géographie impose d'emblée un monde de limites extrêmes : vastes étendues de glace, banquise mouvante, toundra nue, alternance radicale du jour polaire et de la nuit hivernale. L'environnement est instable, rythmé par les saisons de chasse et par la migration des animaux marins et terrestres, qui conditionnent directement la survie collective. Les ressources sont rares, mais vitales : phoques, morses, baleines, poissons, caribous, auxquels s'ajoutent la neige, la glace et l'os comme matériaux techniques. Dans ce contexte, l'observation fine du ciel, des vents, des glaces et des cycles lumineux devient une compétence essentielle, à la fois pratique et symbolique.

La cosmologie inuit s'enracine dans cette cohabitation permanente avec un monde dangereux, mais habité, où le visible et l'invisible sont étroitement intriqués. De nombreux récits lient les phénomènes célestes à l'ordre social et moral : le mythe de la Sœur-Soleil et du Frère-Lune rend compte des cycles jour-nuit, des trajectoires et de la distance des astres, tout en inscrivant ces mouvements dans une histoire de transgression et de séparation. Les aurores boréales ne sont pas de simples manifestations physiques, mais la danse des âmes des défunts, rappelant la continuité entre les vivants et les morts. Le chaman, l'*angakkuq*, circule entre les couches du cosmos pour réparer les déséquilibres causés par les fautes humaines, restaurer l'harmonie et assurer le retour du gibier. L'univers apparaît ainsi comme un réseau de relations et de réciprocités entre humains, animaux, esprits et phénomènes naturels, où la cosmologie est indissociable de l'éthique et de la survie.

Figure 1 Le cercle de vie tracé sur le sol est relié chez les amérindiens à une conception cyclique de l'univers, le *Wakhan Tanka*.

Les Lakota (plaines nord-américaines)

Des espaces ouverts, presque infinis, faits de prairies ondulantes, de ciels immenses et de lignes d'horizon sans obstacles, où le vent, la lumière et les migrations animales structurent l'expérience du monde. L'environnement est rythmé par les saisons marquées, la course du Soleil, les orages violents et les hivers rigoureux, tandis que les ressources traditionnelles reposent largement sur le bison, animal central, tant sur le plan matériel que symbolique, mais aussi sur les plantes médicinales, l'eau et le feu. Cette vie au contact direct des cycles naturels fonde une cosmologie relationnelle, dans laquelle l'univers n'est pas un décor, mais un tissu vivant de liens. *Wakhan*, la force sacrée, imprègne toute chose et se manifeste sous d'innombrables formes, sans jamais se réduire à une entité unique ou anthropomorphe. *Wakhan Tanka*, le « Grand Mystère », désigne à la fois l'ensemble du sacré et le monde lui-même, dans son unité irréductible et sa pluralité de manifestations. L'univers est pensé en cercles : cercle de la vie, cercles saisonniers, cercles des générations, mais aussi cercle sacré des directions du monde, souvent figuré par le

Cercle de vie[7], qui ordonne l'espace, le temps et l'expérience humaine. L'être humain n'est pas séparé de la nature, mais l'un de ses parents, engagé dans des relations de réciprocité avec les animaux, les plantes, les éléments et les puissances invisibles. Le monde spirituel et le monde physique ne sont pas deux sphères distinctes, mais deux aspects d'une même réalité vécue. Les rituels, la danse et la prière n'ont pas pour fonction de dialoguer avec un ailleurs transcendant, mais d'accorder les cercles entre eux, de maintenir l'harmonie dynamique de l'ensemble et de rappeler à chacun sa place au sein du Grand Mystère.

Les Diné – souvent appelés Navajo (Sud-Ouest nord-américain)

Ils habitent des plateaux désertiques, des canyons, des mesas et de vastes étendues semi-arides, où la lumière, la sécheresse et les contrastes thermiques façonnent profondément les modes de vie. L'environnement impose une attention constante à l'eau, rare et précieuse, aux cycles saisonniers et aux ressources locales, combinant agriculture adaptée, élevage, cueillette et chasse. Cet espace n'est jamais neutre : il est structuré symboliquement par quatre montagnes sacrées qui délimitent le territoire diné et ancrent les directions cardinales, faisant du paysage lui-même une carte cosmologique. La cosmologie repose sur le récit d'une émergence, le *Diné Bahane'*, mythe de la Création et récit originel des Navajos, qui raconte le passage progressif à travers plusieurs mondes successifs, depuis des mondes anciens instables et imparfaits jusqu'au monde actuel. Chaque monde correspond à une étape dans l'établissement de l'ordre cosmique, moral et social, marquée par des crises, des déséquilibres et des réajustements. L'univers n'est pas figé, mais pensé comme une succession de mondes en croissance, où création et destruction sont étroitement liées. Les nombres, les directions et les couleurs jouent un rôle structurant, reliant espace, temps et conduite humaine. Les rituels, en particulier les chants et les peintures de sable, reproduisent à petite échelle la structure du cosmos afin de rétablir le *hózhó*, le principe central d'harmonie, de beauté et d'équilibre. Ces pratiques ne sont pas symboliques au sens abstrait,

[7] Ou « roue de médecine », réalisée sur le sol par des alignements de pierres, un symbole cosmique représentant l'ordre du monde, les points cardinaux, le rythme des saisons, et pouvant indiquer l'emplacement des solstices.

mais opératoires : en réalignant l'individu avec les forces cosmiques, elles participent au maintien de l'ordre du monde lui-même.

Les Aztèques – ou Mexica (Méso-Amérique, Mexique)

Le haut plateau mexicain est structuré par des vallées lacustres, des volcans actifs et des chaînes montagneuses, avec un environnement à la fois fertile et instable. L'agriculture intensive, fondée notamment sur le maïs et les cultures sur jardins flottants (*chinampas*)[8], fournit les ressources essentielles, tandis que l'eau, la terre et le feu volcanique jouent un rôle central dans l'organisation matérielle et symbolique du monde. Cette relation étroite à un environnement cyclique et potentiellement destructeur, se prolonge dans une cosmologie fondée sur une histoire cosmique en âges successifs, appelés « Soleils ». Selon les récits conservés, notamment dans le Codex Florentin[9] et le *Chimalpopoca*, l'univers a connu plusieurs créations et destructions, chacune correspondant à un Soleil régi par des lois propres. Nous vivons sous le Cinquième Soleil, un âge instable et menacé, qui ne se maintient que grâce au sacrifice rituel, car le cosmos a besoin de l'énergie vitale humaine pour poursuivre sa course. L'espace est organisé selon quatre directions cardinales et un centre, image d'un univers dynamique, tenu en équilibre par des forces opposées. Le temps est fondamentalement cyclique et structuré par l'articulation de deux calendriers complémentaires : le *tonalpohualli*, calendrier divinatoire de 260 jours, et le *xiuhpohualli*, calendrier solaire de 365 jours, qui coordonnent la vie rituelle, politique et cosmique. Ainsi, espace et temps s'emboîtent dans une vision où l'ordre du monde dépend d'un entretien constant, au prix d'une responsabilité cosmique assumée par les humains.

Les Kogi (Colombie – Sierra Nevada de Santa Marta)

Leur géographie est indissociable de la cosmologie : un massif isolé, abrupt, qui s'élève depuis la mer des Caraïbes jusqu'aux neiges éternelles en quelques dizaines de kilomètres, concentrant en un même lieu tous les étages climatiques et écologiques. Cet

[8] Une surface cultivable créée dans les zones lacustres.

[9] Ou Codex de Florence, est un manuscrit relatant l'histoire de la Nouvelle Espagne et une encyclopédie du monde aztèque.

environnement exceptionnel fournit des ressources variées, agricoles et symboliques, mais impose surtout une vision intégrée du territoire, où chaque altitude, chaque source et chaque vallée possède une fonction cosmique précise.

Figure 2 En Colombie, des amérindiens du sud se livrent à un rituel mettant en jeu *Aluna*, la Grande Mère qui a pensé le monde avant même sa création.

La Sierra n'est pas un simple habitat, elle est conçue comme le cœur du monde, un organisme vivant, dont l'équilibre conditionne celui de la Terre entière. Dans la cosmologie kogi, l'univers naît d'*Aluna*, la Pensée matricielle de la Grande Mère, une conscience originaire antérieure à toute matière, à tout espace et à tout temps. Avant que le monde ne prenne forme, tout existe déjà en pensée, comme potentiel ordonné. Le cosmos est figuré comme un œuf ou une montagne cosmique composée de couches superposées, chacune correspondant à un niveau du monde, visible ou invisible. La Sierra Nevada elle-même est l'expression matérielle de cette structure cosmique, et les maisons cérémonielles en reproduisent l'architecture, devenant des microcosmes opératoires. Les *Mamos*, sages initiés dès l'enfance, ont pour rôle de maintenir l'équilibre entre ces différents niveaux par la méditation, la parole rituelle et les

offrandes, en appliquant la loi morale héritée de la Grande Mère. Tout déséquilibre local, toute faute humaine, résonne à l'échelle globale, car l'univers est pensé comme un tout organique où la pensée précède et gouverne la matière.

Les Quechua, Aymara, Incas (Andes)

Ils habitent la cordillère des Andes, un monde de hautes montagnes, d'altiplanos, de vallées encaissées et de volcans, où l'altitude, le relief et le climat imposent une relation permanente à la verticalité. L'environnement est exigeant, mais riche, fondé sur la maîtrise fine des étages écologiques, l'agriculture en terrasses, la domestication de plantes comme la pomme de terre et le maïs, et l'élevage de camélidés, qui assurent la subsistance et l'échange. Cette organisation matérielle s'inscrit dans une cosmologie où le concept polysémique de *pacha*[10] unit indissociablement espace et temps, faisant du cosmos une continuité spatio-temporelle vivante. Le monde est structuré en trois plans interdépendants : le *hanan pacha*, le domaine supérieur des astres, des phénomènes célestes et des puissances divines ; le *kay pacha*, le monde présent, celui de l'expérience humaine ; et le *ukhu* ou *manqha pacha*, le monde intérieur et profond, associé aux racines, aux morts et aux forces de germination. Ces niveaux ne sont pas hiérarchisés, mais en interaction constante, traversés par des flux, des passages et des correspondances. Toute action humaine a des répercussions cosmiques, car l'univers fonctionne selon des principes de cycle, de complémentarité et de réciprocité. L'*ayni*, loi fondamentale d'échange et de coopération, régit aussi bien les relations sociales que les rapports entre humains, nature et puissances invisibles. Les rites, les offrandes et les calendriers agricoles agissent comme des interfaces, destinées à maintenir l'équilibre dynamique entre ces différents plans du pacha.

Les Yoruba (Afrique de l'Ouest)

On les trouve dans une région de forêts claires, de savanes et de zones fluviales, où l'eau, la terre fertile et la végétation dense structurent durablement les formes de subsistance et d'habitat.

[10] Pouvant signifier Terre, monde, Univers, temps, époque.

L'environnement offre des ressources agricoles variées, une riche pharmacopée végétale et un cadre propice à des sociétés urbaines anciennes, organisées autour de cités, de lignages et de cultes complexes. Cette densité sociale et écologique se reflète dans une cosmologie où le monde est pensé comme un continuum relationnel plutôt que comme un espace séparé en domaines étanches. Le cosmos se déploie selon deux plans indissociables : *Ayé*, le monde visible des humains, des animaux et des actions quotidiennes, et *Òrun*, le monde invisible où résident les ancêtres et les *orisha*, puissances divines associées aux forces de la nature et aux principes de l'existence. Ces deux sphères ne sont jamais coupées l'une de l'autre ; elles s'interpénètrent constamment, et l'harmonie du monde dépend de la qualité de leurs échanges. *Ifá* fonctionne comme une véritable technologie rituelle et cognitive permettant d'interpréter les signes, d'arbitrer les déséquilibres et de guider l'action humaine dans ce tissu cosmique. Le destin, *òrí*, n'est pas une fatalité imposée une fois pour toutes, mais une potentialité négociée au fil des relations entre humains, ancêtres, divinités et circonstances. L'univers apparaît ainsi comme un ensemble dynamique de forces en interaction, ni figé ni strictement mécanique, où l'équilibre se construit et se maintient par l'action rituelle, la parole et la responsabilité morale.

Les San – ou Khoisan (Afrique australe)

Leur environnement est marqué par des milieux contrastés et exigeants, allant des zones semi-désertiques du Kalahari à des savanes plus ouvertes, où l'eau, rare et imprévisible, conditionne l'ensemble de la vie sociale et symbolique. L'environnement impose une économie de chasse et de cueillette fondée sur une connaissance extrêmement fine des animaux, des plantes, des cycles climatiques et des signes du ciel. Les ressources ne sont jamais séparées du sens : la pluie, le gibier et la santé humaine relèvent d'un même réseau de relations vitales. Dans cette cosmologie, le monde est animé par des puissances ambivalentes, souvent liées à l'eau, aux serpents et aux phénomènes atmosphériques, capables d'apporter à la fois fertilité et danger. La figure centrale est celle du *Kaggen*[11], fréquemment associé

[11] Le *Kaggen* comme l'un des *tricksters* (que l'on traduit en anthropologie par « démiurge taquin », qui fait des tours) et créateurs.

à la Mante religieuse, être polymorphe qui crée en transformant, transgresse les frontières et rappelle le caractère instable de l'ordre cosmique. Les animaux, en particulier l'éland[12], occupent une place de médiateurs privilégiés entre les plans du réel, concentrant à la fois puissance vitale et signification rituelle. Le monde est traversé par une énergie appelée *Noum*, activée lors des danses de transe, où le chaman entre en état de vision et de déplacement cosmique. Par ce voyage extatique, il franchit les couches du monde pour rétablir l'équilibre, faire venir la pluie, guérir les maladies ou restaurer l'ordre rompu. L'univers san apparaît ainsi comme fluide, instable et en métamorphose permanente, où santé, climat, chasse et cosmologie relèvent d'un même continuum vivant.

Les Aïnous (îles Hokkaido – Japon – et Sakhaline – Russie)

Des régions froides et boisées, des montagnes, des rivières poissonneuses et des côtes battues par les vents, où la forêt et l'eau structurent profondément les modes de vie. Cet environnement offre des ressources essentielles comme le saumon, le cerf, l'ours, le bois et les plantes, mais impose aussi une attention constante aux rythmes saisonniers et aux équilibres écologiques. Cette intimité avec le milieu naturel se prolonge dans une cosmologie où le monde est peuplé de *kamuy*, puissances spirituelles qui se manifestent sous des formes concrètes : animaux, plantes, reliefs, objets ou phénomènes naturels. Les *kamuy* visitent le monde humain en revêtant une enveloppe matérielle, puis retournent dans leur propre domaine à l'issue des échanges rituels. L'univers est ainsi pensé comme un système de circulation et de dons, où chaque chasse, chaque pêche, chaque feu domestique engage une relation morale. Offrir, prier et rendre sont des actes nécessaires pour maintenir la fluidité du souffle cosmique et éviter la rupture de l'équilibre. L'homme n'occupe pas une position dominante, mais une place relationnelle au sein d'un réseau de réciprocité sacrée entre humains et non-humains. Les rituels, notamment ceux liés à l'ours ou au saumon, ne sont pas des gestes de domination, mais des protocoles de passage et de respect, destinés à assurer la continuité harmonieuse entre les mondes.

[12] Genre d'antilope, l'orthographe est correcte.

Les Aborigènes (Australie)

Ces peuples sont répartis sur un continent aux déserts immenses, aux savanes, aux zones côtières et aux forêts tropicales, la géographie imposant alors une lecture extrêmement fine du territoire et de ses rythmes. L'environnement, souvent aride et variable, fournit des ressources dispersées (eau, plantes, animaux) dont l'accès dépend d'un savoir précis des saisons, des cycles écologiques et des déplacements. Dans ce contexte, le ciel n'est pas un simple décor, mais une carte, un calendrier et une mémoire vivante, indissociables de la terre. Les constellations ne sont pas uniquement dessinées par des étoiles lumineuses : certaines sont formées par les zones sombres de la Voie lactée, comme l'Émeu[13] du Ciel, figure majeure qui indique les périodes de reproduction, de chasse ou de collecte. Ces repères célestes sont directement opératoires, guidant les pratiques quotidiennes autant que les récits mythiques. Les pistes du Rêve (ou Chant des pistes[14]), relient les lieux terrestres aux événements cosmiques : suivre un chemin, c'est rejouer le parcours des êtres ancestraux et maintenir vivant le récit de la création. Chaque site, chaque étoile, chaque animal est ainsi pris dans un réseau narratif et rituel continu. Le ciel et la terre se répondent sans rupture, unis par le chant, la marche et la mémoire collective. L'univers apparaît comme un tout indivisible, où le temps du Rêve n'est pas révolu, mais constamment réactualisé par les gestes humains.

Les Maori (Nouvelle-Zélande)

Ils peuplent des îles volcaniques et montagneuses, aux pieds desquelles on trouve des plaines fertiles, des forêts denses, environnées d'un océan omniprésent, qui structure à la fois les ressources, les déplacements et l'imaginaire. L'environnement fournit bois, plantes, oiseaux, poissons et terres agricoles, mais impose aussi une relation étroite aux cycles climatiques, aux vents et aux courants marins, essentiels à la navigation. Cette immersion dans un monde intensément vivant se reflète dans une cosmologie fondée sur une parenté généralisée. Tout commence par l'étreinte de *Rangi*, le Ciel-père, et de *Papa*, la Terre-mère, dont la séparation par leurs enfants permet à la lumière d'entrer dans le monde et inaugure

[13] Deuxième plus grand oiseau du monde, derrière les autruches.

[14] Des chants faisant office de carte mentale tout au long d'un voyage.

le mouvement, la différenciation et la vie. De cet acte primordial découle une généalogie cosmique, le *whakapapa*, qui relie les dieux, les humains, les éléments naturels et les astres dans une même lignée. Chaque montagne, chaque rivière, chaque étoile ou phénomène atmosphérique possède une filiation précise, qui fonde à la fois le savoir, l'identité et les obligations morales. Le cosmos n'est pas un extérieur abstrait, mais une parenté vivante, engageant des relations de respect et de responsabilité. Les rites, les chants et les pratiques de navigation ne sont pas de simples traditions culturelles, mais des actes de continuité, par lesquels les humains maintiennent le lien entre les mondes, honorent leurs ancêtres célestes et inscrivent leur action dans l'ordre cosmique.

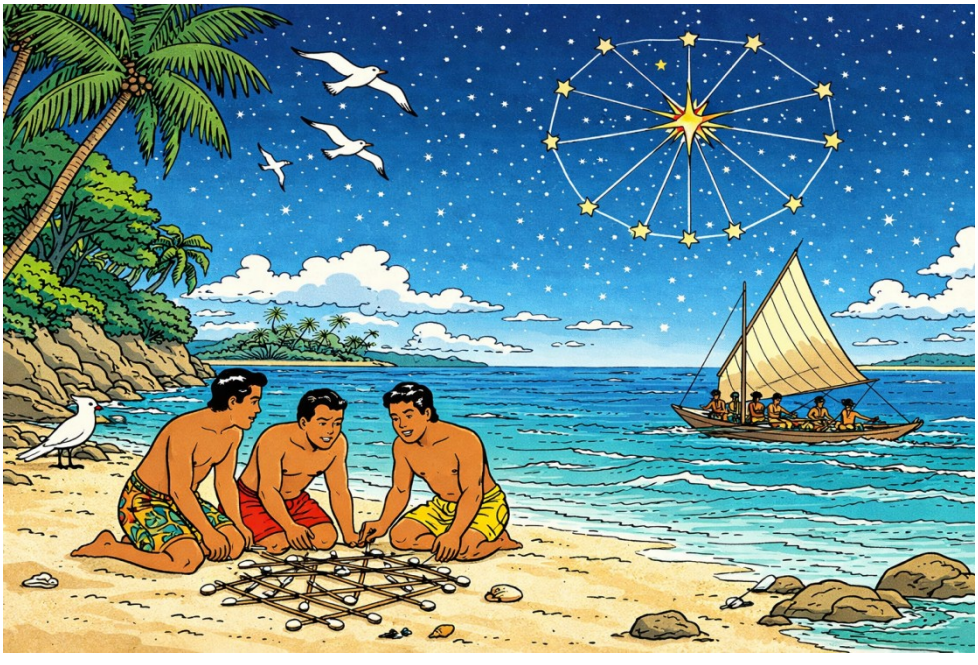

Figure 3 En Polynésie et Micronésie, le milieu essentiellement océanique a favorisé les rituels et conceptions du monde reliant l'océan et le ciel avec la carte à bâtonnets.

Les Polynésiens et Micronésiens (Pacifique)

Ils sont confrontés à un espace sans continuité terrestre, composé d'archipels dispersés dans une immensité océanique, où la mer constitue à la fois la voie, la ressource et le milieu de vie. L'environnement marin fournit poissons, coquillages et routes de

circulation, tandis que les îles offrent des ressources limitées, mais soigneusement intégrées dans des systèmes écologiques fins. Dans ce monde sans repères fixes, le ciel et l'océan forment un seul champ de lecture, continuellement observé et mémorisé. La navigation traditionnelle, transmise par initiation, notamment à travers le savoir *pwo*, repose sur une compréhension globale des vents, des houles, des courants, des oiseaux et des étoiles, interprétés comme les signes d'un même système cosmique. Les cartes à bâtonnets, utilisées surtout en Micronésie, matérialisent les motifs de houle et les relations entre les îles, tandis que la boussole d'étoiles organise mentalement le ciel nocturne en directions et trajectoires. Le monde n'est pas perçu comme un ensemble de points isolés, mais comme un réseau vivant de relations entre mer, ciel et terre. Les mythes évoquent souvent une origine commune des îles, surgies d'un océan primordial, soulignant l'unité fondamentale de l'espace. L'univers est ainsi pensé comme dynamique et mouvant, sans séparation ontologique entre ciel et mer, où se déplacer, c'est lire et actualiser la structure cosmique elle-même.

EN CONCLUSION

Les cosmologies traditionnelles ont d'abord pensé le monde comme un être vivant, non comme un objet. Dans les cosmologies autochtones, qu'elles soient africaines, amérindiennes ou océaniennes, le cosmos est un organisme en équilibre, traversé de relations, où humains, astres et esprits participent du même souffle. Le temps y est cyclique, les mondes sont imbriqués, et le ciel répond à la Terre. L'univers n'est pas à comprendre, mais à maintenir en harmonie. Ces visions, orales et symboliques, expriment une métaphysique de la relation et de l'interdépendance. Elles relèvent d'ontologies cosmologiques préscientifiques, distinctes et largement opposées à l'ontologie naturaliste moderne.

Dans les visions traditionnelles l'univers est habité, signifiant, vivant, alors que dans la science moderne il est matière-énergie, espace-temps, lois physiques. Ainsi, de la cosmologie vivante des anciens peuples, à l'univers relativiste et quantique des physiciens, se dessine une trajectoire continue : celle d'un regard humain qui passe de la participation à la distance, puis tente de retrouver l'unité perdue. L'univers apparaît tour à tour comme organisme, mécanisme, puis réseau d'informations ou d'univers imbriqués. Un

mouvement de pensée qu'une approche fractale multiverselle prolongera naturellement : celle d'un monde où tout est à la fois, parties et tout, et reflet du tout.

Les cosmologies « perceptives » prennent appui et se contente de ce qui est perçu, c'est là leur point de départ. Le ciel étoilé, les planètes, la Lune et le Soleil, et ce ruban magique de la Voie lactée. Et pour les yeux les plus acérés des jeunes gens, peut-être encore, des nébulosités, un peu floues, que l'on nommera un jour, justement, « nébuleuses ». Il n'y a point encore d'instruments d'optique. On ne voit donc rien d'autre, ce qui conduit aux premières interprétations d'un ciel tout plat, une coupe, une sphère, une voute, comme un couvercle posé sur le monde. Mais les choses ne pouvaient pas en rester là.

Les cosmologies perceptives deviennent « symboliques », justement, parce que l'interprétation est irrésistiblement sollicitée pour combler le vide de sens. Ce ciel, si gigantesque, ne peut pas ne servir à rien. Il lui faut bien répondre aux interrogations des hommes. C'est ainsi que les hommes se sont mis à créer le ciel.

2. Les cosmologies hybrides

Du fait des colonisations, les cosmologies autochtones ne pouvaient rester dans leur sanctuaire sociogéographique. Nous verrons que la pression réformatrice des religions monothéistes (chrétienté et islam) et de l'éducation moderne scientifique ne pouvaient que les influencer d'une manière considérable, entraînant une hybridation et souvent une corruption de leurs contenus et pratiques.

La cosmologie des Dogon

La « cosmologie dogon » appartient au peuple dogon, installé sur le plateau de Bandiagara, dans l'actuel Mali, en Afrique de l'Ouest. Cette région a été intégrée à l'empire colonial français à la fin du 19e siècle, et les Dogon ont été exposés, à partir de cette période, à l'administration coloniale, aux missions catholiques et protestantes, ainsi qu'à l'islam déjà présent dans les zones voisines.

La cosmologie traditionnelle dogon est structurée autour d'un mythe cosmogonique complexe, centré sur *Amma*, principe créateur abstrait, et sur la création du monde par étapes, marquées par des déséquilibres successifs. Le récit met en scène les *Nommo*, êtres jumeaux, aquatiques et lumineux, associés à la parole, au nombre, à l'ordre et à la régénération du monde. Le cosmos est pensé comme un système hiérarchisé où la Terre, assimilée à un corps féminin, s'inscrit dans un ordre céleste rythmé par les cycles, les directions et les nombres. Les savoirs astronomiques, intégrés aux rituels, à l'architecture et aux masques, lient étroitement l'organisation sociale, le temps mythique et l'espace cosmique.

Le contact colonial a progressivement modifié cette cosmologie par une double pression. D'une part, les missions chrétiennes ont cherché à marginaliser les récits cosmogoniques au profit d'une lecture biblique du monde, introduisant une temporalité linéaire et une théologie du salut étrangère au système dogon. D'autre part, l'islamisation diffuse a conduit à une recomposition symbolique, certains mythes étant réinterprétés à la lumière du monothéisme. À cela s'ajoute l'influence savante occidentale du 20e siècle, notamment ethnologique, qui a figé et parfois surinterprété la cosmologie dogon, la transformant en objet de savoir exogène.

Il en résulte aujourd'hui une cosmologie hybride, où les récits traditionnels subsistent, mais souvent dissociés de leur fonction structurante originelle, coexistants avec des cadres religieux et conceptuels importés.

La cosmologie des Quechua et Aymara

Dans les Andes centrales, principalement sur les territoires actuels du Pérou et de la Bolivie, les cosmologies autochtones se sont développées chez des populations andines héritières du monde précolombien, dans l'aire montagneuse de la cordillère des Andes.

À partir du 16e siècle, ces sociétés sont conquises et administrées par la Couronne d'Espagne, accompagnée d'une évangélisation massive menée par les ordres catholiques. Nous avons vu que la cosmologie andine traditionnelle repose sur un univers animé et relationnel, structuré autour de la *Pachamama* (Terre-monde), des *Apus* (esprits des montagnes) et d'un cosmos tripartite articulant monde d'en haut, monde d'ici et monde d'en bas. Le temps y est cyclique, rythmé par les saisons agricoles, les rites et les échanges symboliques entre humains, ancêtres et puissances naturelles. Le cosmos n'est pas séparé de la vie sociale : cultiver, offrir, célébrer, c'est maintenir l'équilibre cosmique.

La conquête espagnole introduit brutalement une cosmologie chrétienne fondée sur un Dieu transcendant, une histoire linéaire du salut et une hiérarchie radicale entre Créateur, Nature et Humanité.

Pour autant, les anciens dieux ne disparaissent pas, mais sont requalifiés : les *Apus* sont parfois assimilés à des saints locaux, la *Pachamama* est tolérée comme figure folklorique ou diabolisée selon les contextes. Il en résulte une cosmologie hybride, où les rituels catholiques coexistent avec des pratiques andines réinterprétées, souvent dissimulées ou reformulées.

Cette hybridation n'est ni homogène ni stable : elle varie selon les régions, les périodes et les rapports de pouvoir, produisant un univers symbolique stratifié, dans lequel les cadres chrétiens recouvrent, sans les effacer entièrement, les logiques cosmologiques précoloniales.

Les cosmologies des peuples d'Afrique subsaharienne

Ces cosmologies recouvrent un vaste ensemble de sociétés réparties sur l'Afrique de l'Ouest, centrale, orientale et australe, parmi lesquelles on peut citer les Yoruba, les Akan, les Kongo, les San, les Shona ou encore les peuples bantous. À partir du 15e siècle, ces régions entrent progressivement en contact avec les puissances coloniales européennes, principalement le Portugal, la France, le Royaume-Uni et la Belgique, puis avec les missions chrétiennes catholiques et protestantes, tandis que l'islam s'implante ou se renforce dans de larges zones sahéliennes et côtières.

Les cosmologies traditionnelles subsahariennes reposent généralement sur une vision du monde relationnelle et hiérarchisée, où un principe créateur, souvent lointain, coexiste avec un ensemble dense d'esprits, d'ancêtres et de forces naturelles agissant dans le monde humain. Le cosmos y est animé, structuré par des correspondances entre ciel, terre, monde invisible et société, sans séparation nette entre nature, sacré et vie quotidienne. Le temps est majoritairement cyclique ou rythmique, lié aux saisons, aux générations et aux rituels de régénération.

La colonisation et l'évangélisation introduisent une cosmologie chrétienne fondée sur la transcendance divine, la linéarité du temps historique et la disqualification des médiations spirituelles locales, souvent assimilées à de la superstition ou à de l'idolâtrie. Dans de nombreux cas, les figures ancestrales et les esprits sont reconfigurés en démons, en saints secondaires ou relégués dans la sphère du folklore.

L'école coloniale et l'administration participent à cette transformation en imposant des cadres rationnels et juridiques étrangers aux logiques cosmologiques locales. Il en résulte aujourd'hui des cosmologies hybrides, où croyances ancestrales, christianisme, islam et représentations modernes du monde coexistent, souvent de manière stratifiée et contextuelle, sans former une synthèse unifiée, mais en conservant une profondeur symbolique héritée des systèmes précoloniaux.

Les cosmologies autochtones d'Amérique du Nord et du Canada

Ces cosmologies se déploient chez une grande diversité de peuples répartis sur l'ensemble du continent nord-américain, notamment les

Lakota et autres nations des Plaines, les peuples algonquiens et iroquois de l'Est, les peuples salish et tlingit de la côte nord-ouest, ainsi que les Diné Navajo du Sud-Ouest. Ces territoires correspondent aujourd'hui aux espaces politiques du Canada et des États-Unis, mais furent colonisés à partir du 16e siècle par la France, le Royaume-Uni et, plus marginalement, l'Espagne.

Les cosmologies autochtones reposent sur une vision du monde animée et relationnelle, où humains, animaux, plantes, ancêtres et entités spirituelles participent d'un même tissu cosmique. Le cosmos est pensé comme un réseau d'interactions et d'alliances, structuré par des récits d'origine, des cycles saisonniers et des lieux sacrés, sans séparation stricte entre monde naturel et monde spirituel. Le temps est majoritairement circulaire, inscrit dans le retour des saisons, des migrations animales et des rites de renouvellement.

La colonisation introduit une cosmologie chrétienne fondée sur la transcendance divine, la linéarité historique et la hiérarchisation radicale entre l'humain et le reste du vivant. Les missions religieuses, les pensionnats et les politiques d'assimilation cherchent à éradiquer les récits cosmogoniques, les langues et les pratiques rituelles, les reléguant au rang de croyances archaïques.

Cette violence symbolique entraîne une fragmentation des transmissions traditionnelles. Toutefois, les cosmologies autochtones ne disparaissent pas : elles se recomposent, parfois clandestinement, parfois en intégrant des éléments chrétiens réinterprétés. Il en résulte aujourd'hui des cosmologies hybrides, marquées à la fois par la persistance de conceptions relationnelles du cosmos et par l'empreinte durable des cadres religieux et institutionnels occidentaux.

La cosmologie du Japon

La cosmologie du Japon s'est constituée dans l'archipel japonais, en Asie orientale, au sein d'une culture insulaire longtemps relativement isolée, avant d'entrer en contact soutenu avec les puissances occidentales à partir du 19e siècle, notamment lors de l'ouverture forcée du pays par les États-Unis en 1853, puis durant la modernisation accélérée de l'ère Meiji. Contrairement à de nombreuses sociétés colonisées, le Japon n'a pas été directement dominé politiquement par une puissance européenne, mais a subi

une pression culturelle, scientifique et idéologique occidentale majeure.

La cosmologie traditionnelle japonaise repose sur le shinto, système religieux autochtone fondé sur une vision animée et immanente du monde, où les *kami*, puissances ou présences sacrées, habitent les phénomènes naturels, les lieux, les ancêtres et les forces cosmiques. Le cosmos y est pensé comme un continuum vivant, sans séparation radicale entre nature, société et sacré, et sans récit unique de création *ex nihilo*.

À partir du 6e siècle, cette cosmologie s'enrichit et se transforme par l'intégration du bouddhisme venu de Chine et de Corée, introduisant des conceptions cycliques du temps, de l'impermanence et de la multiplicité des mondes. L'ensemble shinto-bouddhique forme ainsi, bien avant l'Occident, une cosmologie déjà hybride, mais cohérente.

L'irruption des savoirs occidentaux modernes, de la science mécaniste et d'une vision désenchantée de la nature au 19e siècle, modifie profondément les cadres cosmologiques sans les abolir. Le shinto est en partie instrumentalisé par l'État moderne, tandis que la cosmologie scientifique s'impose dans l'éducation et les institutions. Il en résulte une cosmologie hybride contemporaine, où coexistent mythes d'origine, animisme shinto, héritage bouddhique et représentation scientifique de l'univers, sans une synthèse totale, mais dans une stratification culturelle durable.

La cosmologie de la Chine

La cosmologie de la Chine s'est développée sur le vaste territoire de la Chine ancienne, en Asie orientale, au sein d'une civilisation continue depuis le 2e millénaire avant notre ère. Contrairement à de nombreuses régions du monde, la Chine n'a pas été colonisée durablement par des puissances européennes, mais elle a subi, à partir du 19e siècle, de fortes pressions impérialistes, commerciales, militaires et culturelles de la part des puissances occidentales, notamment du Royaume-Uni, de la France, puis des États-Unis, ainsi que du Japon.

La cosmologie chinoise traditionnelle repose sur une vision fondamentalement immanente et processuelle du cosmos. L'univers y est conçu comme un ordre dynamique régi par le *Dao*, principe

cosmique indifférencié, et structuré par les interactions du *Yin* et du *Yang* ainsi que par les Cinq Phases. Le ciel, la terre et l'humanité forment un continuum harmonique, sans créateur transcendant ni rupture ontologique entre nature et société. Le temps y est cyclique, rythmique, fondé sur les alternances, les correspondances et les transformations. Cette cosmologie irrigue aussi bien la pensée philosophique que la médecine, la politique et l'astronomie traditionnelles.

À partir du 19e siècle, l'introduction forcée de la science occidentale, du christianisme et d'une vision mécaniste de l'univers, remet en cause ces cadres anciens, en particulier dans l'éducation et les institutions. Le 20e siècle accentue la rupture avec la condamnation officielle des cosmologies traditionnelles au profit d'un matérialisme scientifique et idéologique.

Il en résulte aujourd'hui une cosmologie hybride, où les représentations scientifiques modernes coexistent avec des schèmes cosmologiques anciens encore présents dans la culture, les pratiques symboliques et certaines philosophies contemporaines, sans reconstitution d'un système unifié, mais dans une continuité culturelle profondément stratifiée.

EN CONCLUSION

Les cosmologies hybrides se distinguent des cosmologies autochtones originelles en ce qu'elles ne constituent ni des systèmes clos, ni des synthèses stabilisées, mais des configurations historiques stratifiées, issues de contacts asymétriques prolongés avec des puissances religieuses, politiques et épistémiques occidentales.

Elles résultent moins d'une fusion que d'une superposition de cadres de pensée hétérogènes, souvent compartimentés selon les contextes sociaux, rituels ou institutionnels. Les structures cosmologiques anciennes y subsistent partiellement, mais amputées de leur fonction explicative globale du monde, reléguées à des registres symboliques, identitaires ou culturels, tandis que les modèles occidentaux s'imposent pour la description du monde physique, du temps et de l'espace.

Ces cosmologies hybrides témoignent ainsi d'un moment de transition durable, où coexistent des visions du cosmos relevant de logiques différentes, parfois contradictoires, sans résolution

unificatrice. Elles révèlent moins une faiblesse conceptuelle qu'un état historique intermédiaire, marqué par la dissociation progressive entre cosmologie vécue, cosmologie symbolique et cosmologie scientifique, prélude à l'adoption généralisée des cadres cosmologiques modernes.

Plus globalement, dans les cosmologies perceptives et symboliques (hybridées ou non), le monde se donne d'abord comme un espace proche, lisible et habité, tendu entre une Terre plate ou faiblement étendue et une voûte céleste basse, presque à portée de main. Il en résulte une double centration : géocentrique, parce que la Terre constitue le plan de référence absolu, et anthropocentrique, parce que l'expérience humaine organise la totalité du sens. Le ciel n'est jamais un arrière-plan abstrait ; il est observé, scruté, mémorisé, surtout dans les milieux où l'horizon est dégagé (déserts, steppes, océans), devenant un outil opératoire. Étoiles brillantes, zones sombres de la Voie lactée, cycles solaires et lunaires, directions célestes servent à rythmer le temps, à guider les déplacements, à ordonner les saisons, à naviguer ou à chasser. La voûte céleste n'est pas distante : elle est fonctionnelle, incorporée aux pratiques et à la survie.

De ces liens concrets naissent des interprétations qui s'organisent en récits, en mythes et en cosmologies cohérentes. Les morts, les ancêtres, les puissances invisibles et les officiants spécialisés y jouent un rôle central, assurant la continuité entre les plans du monde. Le chaman, le sage, le devin ou le prêtre ne font pas médiation avec un « autre monde » radicalement séparé, mais circulent dans un espace cosmique continu, où le visible et l'invisible coexistent.

Ces interprétations sont indissociables de la vie quotidienne : elles engagent la santé des corps, la fécondité des sols et des femmes et femelles, l'abondance du gibier, la venue de la pluie ou l'apaisement des tempêtes. L'éthique cosmique n'est jamais abstraite ; elle règle les relations entre humains, animaux, plantes, phénomènes naturels et éléments fondamentaux, définissant faute de conduite, déséquilibre, réparation et harmonie comme des réalités concrètes, aux conséquences immédiates.

À ce réseau de relations s'ajoute un niveau plus abstrait, sans rupture avec le précédent : celui de la pensée, des lois invisibles et des principes organisateurs. Réciprocité, cycles, causes et effets, échanges, complémentarité structurent l'univers autant que les

sociétés humaines. Des formes embryonnaires de religion émergent, portées par des officiants formés, chargés de maintenir l'ordre cosmique par des rituels, des chants, des danses et des gestes symboliques. L'univers devient alors un récit à la fois historique et cosmologique, fait de créations, de destructions, d'émergences successives, de filiations et d'âges du monde. Les images qui le figurent (œuf cosmique, montagne centrale, cercles concentriques, couches superposées) traduisent une même intuition : celle d'un réel stratifié, vivant, où l'invisible ne nie jamais le visible, mais l'approfondit.

Si l'on tente d'estimer, même grossièrement, la taille et la forme de l'univers dans ces cosmologies, on constate un fort parochialisme cosmologique. Le monde habitable s'étend rarement au-delà de quelques dizaines ou centaines de kilomètres autour du groupe humain, parfois jusqu'aux limites du territoire connu ou des routes maritimes maîtrisées. La voûte céleste est conçue comme une sphère finie, de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres de rayon, portée par des piliers, des montagnes ou des couches invisibles, et enveloppant directement la Terre. L'univers est clos, fini, souvent circulaire ou ovoïde, structuré en niveaux empilés ou en cercles concentriques, sans idée d'infini spatial. Ce parochialisme n'est pas une ignorance, mais une cohérence : l'univers a la taille de ce qui compte, de ce qui agit et de ce qui engage la responsabilité humaine. Il est à l'échelle de la relation, non de l'abstraction, et sa forme reflète moins une géométrie que la cartographie vécue d'un monde où survivre, comprendre et agir ne font qu'un.

On peut dire qu'à ce stade, les cosmologies perceptives et symboliques ont déjà fait presque tout le travail. Elles ont tissé un monde lisible, relationnel, habité, où le ciel, la Terre, les vivants et les morts forment un continuum d'interactions, réglé par des récits, des rites et des équilibres. Il ne manque plus qu'un pas, assez discret, pour que ces relations se stabilisent, se conceptualisent plus fermement et se concentrent autour de figures, de principes ou de puissances plus nettement identifiées.

Nous verrons que la transition vers les cosmologies théologiques relationnelles ne rompt donc pas avec ce socle perceptif ; elle le resserre, le hiérarchise parfois, et lui donne une cohérence morale et narrative plus durable. Le monde reste relation, mais la relation commence à s'ordonner autour d'instances plus persistantes que les

seuls phénomènes, comme si l'univers cherchait moins à être lu qu'à être garanti par des principes, des figures ou des puissances capables d'en soutenir durablement l'ordre tenu pour immuable.

3. Les cosmologies intermédiaires

Les cosmologies théologiques relationnelles, que nous verrons à la suite, ne sont pas apparues d'un seul bloc, ni par rupture nette avec les visions antérieures du monde. Elles s'inscrivent dans un continuum de représentations où se mêlent progressivement perception sensible, symbolisme mythique, rationalisation philosophique et premières tentatives de structuration conceptuelle de l'univers.

Entre les cosmologies purement perceptives et symboliques, que nous venons de voir, issues d'un rapport immédiat au ciel et à la nature, et les cosmologies théologiques relationnelles proprement dites, qui articulent un cosmos ordonné à un principe divin actif, personnel ou rationnel, s'étend une vaste zone intermédiaire de la pensée.

Dans cet espace intellectuel, de nombreux penseurs de l'Antiquité élaborent des conceptions où l'univers est déjà pensé comme un ordre, un tout cohérent, parfois animé ou gouverné par un principe abstrait, sans que celui-ci ne prenne encore la forme d'un dieu relationnel au sens théologique ultérieur. Ces conceptions intermédiaires préparent ainsi, par paliers successifs, l'émergence de cosmologies géocentriques, puis héliocentriques, structurées, en intégrant des questions de forme de l'univers, de place de la Terre, de hiérarchie des cieux et de rationalité du monde.

Ce chapitre suivra un cheminement conceptuel plutôt que chronologique, en mettant en évidence les continuités, les glissements et les recompositions successives qui conduiront, à partir de la Renaissance, à la disparition des voûtes célestes et des sphères, et à l'apparition d'un univers ouvert peuplé d'astres, de la Voie lactée et de nébuleuses, prélude aux révolutions cosmologiques des 19^{e} et 20^{e} siècles.

Anaximandre (vers -610/vers -546)

Le philosophe grec Anaximandre propose l'une des premières tentatives connues de penser l'univers comme un tout cohérent régi

par des principes impersonnels plutôt que par des figures divines anthropomorphes.

Figure 4 Dans l'*Apeiron* d'Anaximandre, apparaît un principe cosmologique abstrait, expliquant l'émergence des êtres comme processus nécessaire.

Avec l'*Apeiron*, l'illimité ou l'indéterminé, il introduit un principe cosmologique radicalement nouveau, ni élément matériel identifiable ni divinité personnelle, mais source abstraite de toutes choses. Le cosmos n'est plus le résultat d'une volonté divine capricieuse, mais l'effet d'un processus nécessaire, où les êtres émergent, se différencient, puis retournent à l'indéterminé selon une forme de « justice » cosmique.

Cette idée de justice, souvent formulée en termes quasi juridiques, traduit une rationalisation profonde de l'ordre du monde, où les déséquilibres se compensent dans le temps. La Terre elle-même n'est plus soutenue par un dieu, un animal ou un pilier mythique, mais se tient en équilibre, suspendue dans l'espace, par symétrie et nécessité, ce qui constitue une rupture majeure avec les cosmologies mythiques antérieures et anticipe, de manière encore intuitive, l'idée qu'un corps n'a pas besoin de support pour se maintenir, préfigurant

très lointainement l'inertie newtonienne. Le ciel et les astres relèvent d'un ordre naturel explicable, même si les mécanismes précis restent largement spéculatifs.

Anaximandre inaugure ainsi une cosmologie où l'univers est pensé comme autonome, régi par des lois internes, tout en conservant une dimension symbolique forte héritée du mythe. Sa pensée occupe une position typiquement intermédiaire : elle n'est plus religieuse au sens traditionnel, pas encore scientifique au sens moderne, mais déjà engagée dans une conceptualisation abstraite du cosmos. En ce sens, elle ouvre la voie à des conceptions ultérieures où l'ordre du monde pourra être rapporté à un principe rationnel, puis théologique, sans revenir aux dieux narratifs des traditions archaïques.

Pythagore (vers -570/vers -495)

Pythagore occupe une place singulière dans l'histoire des cosmologies intermédiaires, en introduisant une lecture du monde où l'ordre cosmique est fondamentalement de nature mathématique. Le cosmos n'est plus seulement un ensemble d'objets disposés dans l'espace, mais une structure harmonique régie par des rapports numériques, perceptibles notamment dans la musique et transposables à l'ensemble de l'univers. Cette identification du nombre comme principe organisateur confère au monde une intelligibilité abstraite qui dépasse le symbolisme mythique tout en conservant une forte charge de sacré. L'univers est pensé comme un ordre, un *kosmos* au sens strict, c'est-à-dire un arrangement beau et juste, où chaque chose trouve sa place, selon des proportions précises.

La sphéricité, attribuée à la Terre comme au ciel, participe de cette recherche de perfection formelle, la sphère étant tenue pour la figure géométrique la plus accomplie. Le géocentrisme pythagoricien n'est pas seulement une donnée d'observation ou de tradition, mais s'inscrit dans une hiérarchie symbolique où le centre possède une valeur ontologique et cosmique. La célèbre idée de l'« harmonie des sphères », même si elle n'est pas formulée de manière uniforme dans les sources, exprime cette conviction que les mouvements célestes obéissent à des lois analogues à celles de la musique.

Le divin, chez Pythagore, n'est pas absent, mais il se manifeste à travers l'ordre même du monde, immanent aux structures mathématiques plutôt que sous la forme de dieux agissants. Cette cosmologie instaure ainsi une médiation décisive entre mythe, métaphysique et rationalité abstraite. Elle prépare le terrain à des conceptions ultérieures où l'univers pourra être pensé comme intelligible par essence, condition préalable aussi bien aux cosmologies théologiques relationnelles qu'aux futures descriptions scientifiques du monde.

Héraclite (vers -544/vers -480)

Le philosophe grec Héraclite propose une cosmologie radicalement dynamique, dans laquelle l'univers n'est jamais un état, mais un processus. Le cosmos est pensé comme un ordre en devenir, structuré par le *Logos*, principe à la fois rationnel, immanent et universel, qui règle les transformations incessantes du monde. Rien n'est stable, rien n'est définitivement constitué : tout advient par tension, opposition et passage[15], selon une loi commune qui traverse aussi bien la nature que l'expérience humaine.

Le feu, souvent présenté comme principe primordial, ne doit pas être compris comme un simple élément matériel, mais comme la métaphore d'un monde en combustion permanente, d'une réalité fondamentalement changeante. Cette vision rompt avec les cosmologies fondées sur la permanence de l'être ou sur des structures figées, et introduit l'idée d'une unité profonde du réel à travers la multiplicité des phénomènes.

L'ordre cosmique n'est pas imposé de l'extérieur par une divinité personnelle, mais se manifeste dans la cohérence interne du devenir lui-même. Le *Logos* n'est ni un dieu créateur ni une providence relationnelle, mais une rationalité diffuse que la plupart des hommes ignorent malgré son évidence. Héraclite se situe ainsi dans une position intermédiaire décisive : il évacue les récits mythiques tout en refusant une conception statique ou strictement géométrique du cosmos.

L'univers est intelligible, mais cette intelligibilité est inséparable du conflit, de la transformation et de l'instabilité. Cette cosmologie

[15] Dans une rivière, on ne se baigne jamais deux fois dans la même eau.

du devenir prépare indirectement des pensées ultérieures où l'ordre du monde sera conçu, non plus comme une architecture immobile, mais comme une loi immanente régissant le changement, sans pour autant déboucher encore sur une théologie relationnelle structurée.

Parménide (début du 5e siècle av. J.-C.)

Parménide occupe une position paradoxale et décisive dans l'histoire des cosmologies intermédiaires, en proposant une vision du cosmos fondée sur la primauté absolue de l'Être. Contre l'évidence du monde sensible, marqué par le changement, la multiplicité et le devenir, Parménide affirme que seul l'Être est, et qu'il est un, immobile, éternel et homogène. Le cosmos véritable n'est donc pas celui que perçoivent les sens, mais celui que saisit la raison lorsqu'elle se détourne des apparences trompeuses.

Cette exigence de cohérence logique conduit à exclure toute naissance, toute destruction et tout mouvement, car penser le non-être est déjà une contradiction. L'univers parménidien est ainsi une totalité close, parfaitement rationnelle, dont la structure relève moins de la cosmologie descriptive que de l'ontologie. Le monde du devenir, celui des phénomènes, n'est pas nié en tant qu'expérience, mais relégué au rang d'opinion, de discours plausible, mais non vrai.

En ce sens, Parménide introduit une fracture durable entre réalité intelligible et monde sensible, fracture qui marquera profondément toute la philosophie ultérieure. Sa pensée ne relève ni du mythe ni d'une théologie relationnelle, mais d'une rationalité radicale qui absolutise l'exigence de non-contradiction.

Cette cosmologie de l'immobilité, en apparence étrangère à toute description physique du monde, joue néanmoins un rôle fondamental dans l'histoire des idées en obligeant les penseurs suivants à se positionner face au problème du changement. Parménide n'offre pas un modèle cosmique au sens astronomique, mais il impose un cadre conceptuel dans lequel toute cosmologie devra désormais justifier la possibilité du mouvement, du temps et de la pluralité sans renoncer à la rationalité.

Empédocle (vers -490/vers -430)

Empédocle élabore une cosmologie qui cherche explicitement à concilier l'exigence rationnelle héritée de Parménide avec l'évidence

du changement mise en avant par Héraclite. Pour résoudre cette tension, il introduit la théorie des quatre éléments fondamentaux, éternels et indestructibles, dont les combinaisons rendent compte de la diversité des êtres et des transformations du monde. Le devenir n'est plus une création ou une annihilation, mais un jeu de mélanges et de séparations entre des principes immuables.

À ces éléments s'ajoutent deux forces cosmiques antagonistes, l'Amour et la Haine, qui régissent l'unification et la dissociation de la matière. Ces forces, souvent personnifiées, conservent une coloration mythique tout en jouant un rôle conceptuel précis dans l'explication du cosmos. L'univers est pensé comme cyclique, alternant des phases de domination de l'Amour, où l'unité prévaut, et de la Haine, où la multiplicité et la séparation s'imposent. Cette cyclicité cosmique permet d'intégrer le changement sans remettre en cause l'éternité des principes premiers.

Empédocle occupe ainsi une position typiquement intermédiaire : il rationalise le mythe sans l'abolir, et il naturalise le changement sans renoncer à une structuration cosmique globale. Le divin n'est plus un agent extérieur gouvernant le monde, mais se diffuse dans les forces mêmes qui organisent la nature. Sa cosmologie offre un modèle explicatif du monde sensible tout en conservant une dimension symbolique forte, ce qui en fait un jalon essentiel dans la transition entre cosmologies mythiques, spéculations philosophiques et futures élaborations théologiques ou scientifiques.

Anaxagore (vers -500/vers -428)

Anaxagore introduit une distinction décisive dans l'histoire des cosmologies intermédiaires en séparant clairement le principe ordonnateur du monde des éléments matériels qui le composent. Avec le *Nous*, l'Intellect, il affirme l'existence d'un principe rationnel autonome, à l'origine de l'organisation du cosmos, sans pour autant lui conférer les traits d'une divinité personnelle ou relationnelle. Le monde est constitué d'une infinité de semences qualitativement distinctes, mêlées à l'origine, que le *Nous* met en mouvement et ordonne par une impulsion initiale. Cette intervention intellectuelle n'est ni continue ni providentielle : une fois le mouvement instauré, les processus naturels se développent selon leurs propres lois. Anaxagore propose ainsi une cosmologie où la rationalité du monde

ne réside pas dans la matière elle-même, mais dans un principe séparé qui la met en ordre.

Le géocentrisme demeure, mais il s'inscrit désormais dans un cadre explicatif plus abstrait, où les phénomènes célestes sont interprétés de manière naturaliste, au détriment des récits mythologiques. Le Soleil, la Lune et les astres ne sont plus des dieux, mais des corps matériels, soumis à des causes physiques, ce qui marque une rupture culturelle et religieuse majeure.

Le *Nous* anaxagorien ne dialogue pas avec le monde, il ne juge ni ne gouverne moralement, mais il fonde l'intelligibilité de l'ensemble. Cette conception occupe une position charnière entre une cosmologie encore marquée par le symbolisme et l'émergence d'une pensée pleinement rationalisée du cosmos. Elle prépare à la fois les grandes synthèses métaphysiques ultérieures et la possibilité d'une lecture scientifique de l'univers, tout en restant étrangère à une théologie relationnelle au sens strict.

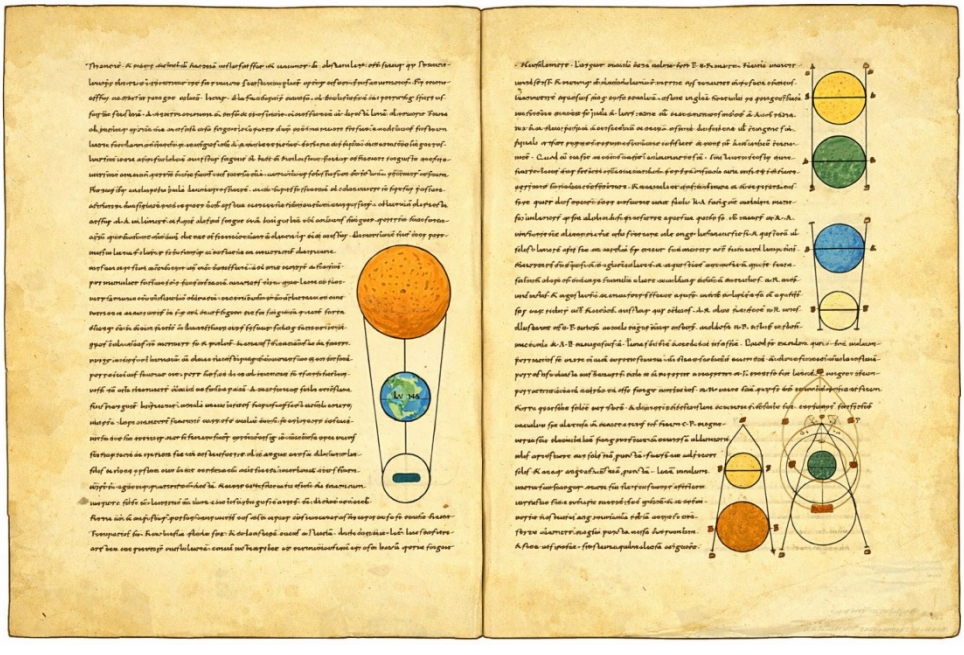

Figure 5. Le Timée de Platon dans une version traduite en latin. Platon y présente une cosmologie bien structurée, géocentrique, qui influencera les cosmologies antiques, médiévales et jusqu'à la Renaissance.

Platon (-428/-347)

Le philosophe grec Platon propose, avec le Timée[16], l'une des cosmologies les plus structurées et les plus influentes de l'Antiquité, occupant une position charnière entre spéculation philosophique, symbolisme mathématique et prémices de théologie rationnelle. Le cosmos y est conçu comme un être vivant, unique, doté d'une âme et d'une intelligence, formé à l'image du modèle intelligible que constituent les « Idées »[17].

Le Démiurge n'est pas un dieu créateur *ex nihilo*, mais un artisan divin qui ordonne une matière préexistante chaotique en la conformant à des principes rationnels et mathématiques. Cette opération confère au monde une finalité et une cohérence interne, sans faire intervenir une volonté capricieuse ou narrative. L'âme du monde, antérieure aux corps, assure l'unité dynamique du cosmos et fonde l'intelligibilité de ses mouvements, en particulier ceux des astres.

Le géocentrisme platonicien s'inscrit dans une hiérarchie cosmique où la Terre occupe le centre non par privilège empirique[18], mais en raison de l'ordre global du Tout. Les mouvements circulaires et réguliers des corps célestes expriment la perfection de l'ordre intelligible, tandis que le monde sublunaire demeure le lieu de l'imperfection et du devenir.

Le divin, chez Platon, n'est plus extérieur au monde ni simplement immanent : il se manifeste dans l'ordre même du cosmos, pensé comme un organisme rationnel. Cette cosmologie dépasse les conceptions purement naturalistes tout en refusant une théologie relationnelle au sens strict, car le Démiurge n'entretient pas de relation historique ou morale avec les hommes. En offrant un modèle

[16] Un texte philosophique dans lequel Platon expose sa cosmologie.

[17] Les Idées sont des réalités intelligibles, éternelles et immuables, qui constituent le véritable être des choses. Elles ne sont pas des idées au sens psychologique moderne, ni des représentations mentales, mais des formes objectives, existant indépendamment du monde sensible et de l'esprit humain.

[18] Empirique signifie ne s'appuyer que sur l'expérience directe et naturelle (ce qu'on observe) et non sur la théorie, le raisonnement ou l'expérimentation. Ce terme sera très souvent utilisé dans ce livre. Retenez « empirique = ce qu'on observe ».

durable d'univers ordonné, intelligible et finalisé, cette cosmologie exercera une influence considérable sur les cosmologies ultérieures, antiques, médiévales et de la Renaissance.

Aristote (-384/-322)

Aristote élabore une cosmologie systématique qui dominera la pensée occidentale pendant près de deux millénaires, en articulant étroitement physique, métaphysique et observation du monde naturel. Le cosmos aristotélicien est fini, clos et ordonné, structuré en une hiérarchie rigoureuse de régions et de mouvements.

La Terre occupe, immobile, le centre de l'univers, entourée de sphères célestes concentriques portant la Lune, le Soleil, les planètes et les étoiles fixes. Cette organisation repose sur une distinction fondamentale entre le monde sublunaire, soumis au changement, à la génération et à la corruption, et le monde supralunaire, parfait, éternel et régi par le mouvement circulaire uniforme.

Les corps célestes ne sont pas composés des quatre éléments terrestres, mais d'une substance spécifique, l'éther, incorruptible et naturellement animée d'un mouvement circulaire. Le moteur immobile, principe ultime de cette cosmologie, n'est pas une cause efficiente qui agirait sur le monde, mais une cause finale : il meut l'univers en tant qu'objet de désir et d'intellection. Il pense éternellement sa propre pensée, sans relation directe avec le monde, sans création ni providence au sens théologique ultérieur.

L'ordre cosmique résulte ainsi d'une nécessité naturelle orientée vers des fins, et non d'une volonté divine personnelle. Cette conception confère au cosmos une intelligibilité totale, où chaque chose a une place, une nature et une finalité déterminées. Aristote propose ainsi une cosmologie profondément rationnelle, non théologique au sens relationnel, mais fortement finalisée, qui constituera le cadre de référence majeur des cosmologies médiévales, tant philosophiques que théologiques, avant d'être progressivement remise en cause à partir de la Renaissance.

Cicéron (-106/-43)

Le philosophe romain Cicéron occupe une place de médiateur et de transmetteur dans l'histoire des cosmologies antiques, en reformulant pour le monde romain les grandes conceptions

grecques, principalement platoniciennes et stoïciennes[19]. Sa vision du cosmos repose sur l'idée d'un ordre rationnel et intelligible, inscrit dans la nature même du monde et accessible à la raison humaine.

L'univers n'est ni le produit du hasard ni un simple mécanisme aveugle, mais un ensemble cohérent gouverné par une rationalité immanente, que Cicéron associe volontiers à une providence diffuse. Cette providence n'est pas celle d'un dieu personnel intervenant dans l'histoire, mais une intelligence cosmique qui assure l'harmonie du Tout et la convenance des parties entre elles. Le cosmos apparaît ainsi comme un système finalisé, où l'ordre naturel reflète un ordre moral, ce qui permet d'articuler cosmologie, éthique et politique.

Héritier du platonisme, Cicéron reprend l'idée d'un monde ordonné selon des principes rationnels supérieurs, tout en intégrant l'influence stoïcienne d'un *logos* cosmique immanent. Le ciel et les astres jouent un rôle exemplaire, manifestant par leur régularité, la perfection de l'ordre universel. Le géocentrisme reste implicite, mais il est moins central que la conviction que le monde forme une totalité intelligible et normée.

La cosmologie cicéronienne n'innove guère sur le plan scientifique, mais elle joue un rôle décisif dans la diffusion d'une vision du monde où raison, nature et divin ne sont pas séparés. Elle prépare ainsi le terrain à des cosmologies théologiques relationnelles ultérieures, en instaurant l'idée que l'ordre du cosmos peut être interprété comme l'expression d'une intention rationnelle, sans rompre encore avec une conception largement philosophique et morale de l'univers.

Sénèque (vers -4/65)

Le philosophe stoïcien romain Sénèque s'inscrit pleinement dans la tradition stoïcienne tout en lui donnant une inflexion morale et cosmologique particulièrement explicite. Le cosmos est pour lui un tout rationnel et animé, traversé par une raison immanente qui l'ordonne et le gouverne de l'intérieur.

Cette rationalité cosmique se manifeste sous la forme d'une loi naturelle universelle, à laquelle les phénomènes physiques comme

[19] Le stoïcisme, évoqué par Cicéron, est une philosophie de vie consistant en l'acceptation lucide d'un cosmos déjà structuré par la raison et la nécessité.

les actions humaines sont également soumis. Selon cette loi, l'univers n'est ni chaotique ni indifférent : il constitue un système cohérent, nécessaire, où chaque événement trouve sa place dans un enchaînement causal global.

Le divin n'est pas séparé du monde, mais se confond avec l'ordre même de la nature, avec cette raison cosmique qui pénètre toute chose. Sénèque parle volontiers de « providence », mais il s'agit d'une providence diffuse, non interventionniste, qui ne suspend pas les lois du monde, mais s'exprime à travers elles.

Le géocentrisme demeure le cadre implicite de sa cosmologie, mais l'accent se déplace nettement de la structure astronomique vers le sens rationnel et moral de l'univers. Les astres, par leur régularité, témoignent de la perfection de l'ordre cosmique et servent de modèle à la constance que l'homme doit rechercher. Cette vision confère au monde une dimension à la fois nécessaire et signifiante, où la liberté humaine consiste non à s'opposer au destin, mais à consentir rationnellement à l'ordre du Tout.

Sénèque occupe ainsi une position de transition : sa cosmologie reste philosophique et immanente, mais elle annonce déjà des conceptions plus nettement providentialistes, où l'ordre du cosmos pourra être interprété comme l'expression d'une intention divine intelligible.

EN CONCLUSION

Ce que révèlent ces précurseurs, globalement, c'est moins une progression linéaire qu'un long travail de déplacement des attributs du divin, sans jamais en interroger véritablement la légitimité. La philosophie antique installe un principe cosmologique intermédiaire, à la fois abstrait et encore chargé d'intentionnalité : nécessité, justice cosmique, *Logos*, *Nous*, âme du monde. Le monde cesse d'être gouverné par des dieux narratifs, mais il reste pensé comme porteur de sens, de finalité et parfois même de rationalité morale. On remplace les figures mythiques par des principes plus élégants, mais on conserve l'idée qu'un ordre « doit » exister, qu'il est intrinsèquement bon, harmonieux ou parfait, souvent au prix d'hypothèses *ad hoc* qui donnent l'illusion de l'explication. L'éther aristotélicien, la perfection du supralunaire ou l'animation du

cosmos jouent ce rôle : non pas expliquer le monde, mais le rendre acceptable intellectuellement et existentiellement.

Dans le même mouvement, certaines intuitions décisives apparaissent pourtant, comme la Terre suspendue dans l'espace, l'émergence d'un ordre mathématique ou la possibilité d'une intelligibilité indépendante des mythes, tandis que persistent des cadres parochiaux puissants, en particulier le géocentrisme et la projection de catégories humaines (volonté, désir, intelligence) sur le cosmos lui-même.

C'est précisément contre cet héritage ambivalent que vont se construire les cosmologies théologiques relationnelles de la Renaissance et de l'âge classique. Avec Copernic, le centre cessera d'être un lieu ontologiquement privilégié, et la structure du monde commencera à être décrite indépendamment de la position humaine. Galilée réalisera une rupture plus radicale encore, en dissociant description physique et finalité morale, et en substituant aux qualités symboliques du cosmos un langage mathématique opératoire. Giordano Bruno poussera cette décentration jusqu'à ses conséquences métaphysiques, en dissolvant les sphères, en ouvrant l'espace à l'infini et en retirant au monde toute hiérarchie intrinsèquement humaine.

La théologie relationnelle, qui émerge alors, ne consiste plus à attribuer au cosmos une intention ou une perfection anthropocentrée, mais à penser un Dieu séparé du monde physique, dont la relation à la création n'est plus inscrite dans la structure même du ciel. Le cosmos devient enfin un objet autonome, muet quant au sens, et c'est précisément ce silence qui rend possible une véritable cosmologie scientifique. Là où les conceptions intermédiaires projetaient encore de l'humain dans l'univers, les cosmologies modernes commencent à accepter un monde qui n'a rien à dire sur nous. Une condition nécessaire pour que la relation théologique, si elle subsiste, ne soit plus confondue avec une cosmologie déguisée.

4. Les cosmologies théologiques relationnelles

Pour ces philosophes, puis scientifiques, le cosmos est conçu comme une totalité ordonnée, progressivement objectivée, structurée par des sphères qui enveloppent la Terre, suivant une structure hiérarchique d'emboîtements, la divinité étant reléguée vers l'extérieur infini.

Le géocentrisme est majoritaire, cependant la Terre n'est plus réduite à un paysage local. Elle comprend tout ce que la géographie de l'époque peut fournir en continents tronqués, aux limites des explorations, autour d'un bassin méditerranéen géographiquement hégémonique. Nous verrons que, jusqu'à Newton, les approches héliocentriques et mathématisables restent exceptionnelles.

Ces cosmologies sont dites relationnelles parce que le principe ultime n'y est pas isolé du monde, mais engagé dans un rapport constitutif avec lui. Le divin n'est pas seulement cause première ou architecte extérieur ; il est ce avec quoi le monde est en relation permanente, ce dont il procède, dépend ou participe. Chez Platon, le monde sensible est en relation avec les Idées ; chez Aristote, il est ordonné vers le premier moteur ; dans les traditions néoplatoniciennes ou médiévales, l'être émane, se hiérarchise et se rapporte continuellement à son principe. Même lorsqu'il y a transcendance, elle ne rompt pas le lien : elle le fonde. Le cosmos reste ainsi structuré par des relations d'origine, de dépendance, de finalité ou de participation, plutôt que comme un ensemble autonome régi par des lois impersonnelles. Les cosmologies ainsi développées, se revendiquent donc relationnelles, rationnelles, scientifiques, et universelles, s'adressant à l'ensemble l'humanité.

Eudoxe de Cnide (vers -408/vers -355)

Avec Eudoxe de Cnide, la cosmologie marque un moment décisif où l'ordre du ciel cesse d'être pensé en termes mythiques ou symboliques pour devenir un système géométrique abstrait, autonome, régi par des relations mathématiques. Son modèle des sphères homocentriques, toutes centrées sur la Terre immobile, constitue le premier effort systématique pour rendre compte des

mouvements planétaires par une cinématique pure, sans recourir à des volontés divines ni à des forces occultes. Chaque astre est porté par un ensemble de sphères concentriques animées de rotations uniformes, dont la composition explique les trajectoires observées, y compris les rétrogradations[20] apparentes (préfigurant les épicycles ptoléméennes).

Le cosmos d'Eudoxe est ainsi relationnel au sens strict : ce ne sont pas les corps qui possèdent en eux-mêmes leurs mouvements, mais les relations géométriques entre sphères qui produisent l'ordre visible du ciel. Cette construction inaugure une cosmologie où la régularité devient intelligible par la seule raison, tout en conservant une dimension normative : le ciel est parfait parce qu'il est réductible à des mouvements circulaires uniformes.

Le géocentrisme n'est pas ici une croyance naïve, mais une exigence structurelle liée à la symétrie et à la cohérence du système. Le cosmos apparaît comme une machine abstraite avant la lettre, entièrement déterminée par des relations formelles, et non comme un théâtre d'interventions divines. En ce sens, Eudoxe préfigure à la fois l'astronomie mathématique grecque, culminant chez Ptolémée, et une conception du monde où l'ordre cosmique est immanent, intelligible, et fondé sur la structure même des relations, annonçant déjà une rationalisation complète du ciel.

Aristarque de Samos (vers -310/vers -230)

Chez Aristarque de Samos, la cosmologie connaît une rupture conceptuelle radicale, sans équivalent dans l'Antiquité, avec l'introduction explicite d'un modèle héliocentrique où la Terre devient un astre mobile parmi d'autres. Ce déplacement du centre du monde n'est pas anecdotique : il bouleverse la hiérarchie cosmique héritée du géocentrisme symbolique et ouvre la possibilité d'un ordre du ciel fondé non plus sur la centralité ontologique de la Terre, mais sur une rationalité géométrique plus simple et plus cohérente.

[20] La rétrogradation est un mouvement apparent par lequel une planète semble, depuis la Terre, ralentir, s'immobiliser, puis reculer temporairement par rapport au fond des étoiles fixes, avant de reprendre son mouvement direct habituel. Cet effet n'est pas réel, mais résulte de la combinaison des mouvements relatifs de la Terre et de la planète observée.

Aristarque conçoit un cosmos où la rotation quotidienne du ciel est attribuée à la rotation de la Terre sur elle-même, et où les mouvements planétaires s'ordonnent autour du Soleil, anticipant de près de dix-huit siècles les intuitions de Copernic. Pourtant, ce cosmos reste fini, clos, et inscrit dans une sphère des étoiles fixes, dont l'éloignement extrême est invoqué pour expliquer l'absence de parallaxe stellaire observable.

Le Soleil central n'est pas encore un centre dynamique au sens moderne, mais un centre géométrique et ordonnateur, garant d'une meilleure intelligibilité des mouvements. La cosmologie d'Aristarque demeure ainsi relationnelle et théorique, détachée de toute théologie explicite, mais elle entre en tension frontale avec la physique aristotélicienne et avec le sens commun cosmologique de son temps.

Son héliocentrisme, trop en avance sur les cadres conceptuels disponibles, restera marginal, presque clandestin, cité davantage pour être réfuté que pour être développé. Il n'en constitue pas moins une démonstration éclatante que l'ordre du cosmos peut être pensé indépendamment de toute centralité humaine ou terrestre, inaugurant une possibilité conceptuelle majeure : celle d'un univers où la position de l'observateur n'a plus aucun privilège ontologique.

Claude Ptolémée (vers 100/vers 170)

Chez Claude Ptolémée, la cosmologie antique atteint un degré d'achèvement formel sans précédent, avec un géocentrisme entièrement mathématisé qui se veut à la fois exact sur le plan descriptif et conceptuellement cohérent. Dans son livre l'Almageste, le cosmos est conçu comme un système clos de sphères emboîtées, centré sur une Terre immobile, autour de laquelle s'ordonnent les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes selon un appareillage géométrique sophistiqué combinant déférents, épicycles et équants[21].

[21] Déférents, épicycles et équants sont un ensemble de dispositifs géométriques introduits dans l'astronomie antique, notamment chez Claude Ptolémée, pour rendre compte avec précision des mouvements apparents des planètes. Le déférent est le cercle principal centré approximativement sur la Terre, sur lequel se déplace le centre d'un cercle secondaire, l'épicycle, parcouru par la planète elle-même. La composition de ces mouvements circulaires explique les variations de vitesse apparente et

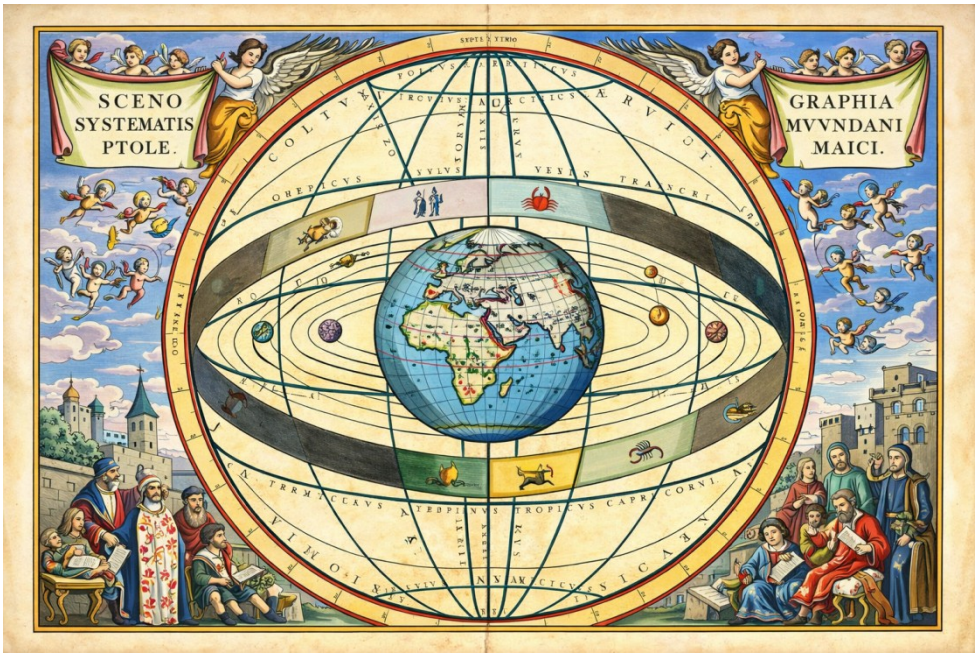

Figure 6 Pour Ptolémée le géocentrisme est mathématisé. Le cosmos est conçu comme un système clos de sphères emboîtées, centré sur une Terre immobile, autour de laquelle s'ordonnent les mouvements des astres selon une géométrie complexe.

L'objectif n'est pas de décrire la réalité physique ultime du monde, mais de sauver les phénomènes, c'est-à-dire de rendre compte avec précision des positions observées des astres à partir de mouvements circulaires uniformes, principe normatif hérité de la tradition grecque.

Le recours aux épicycles permet d'expliquer les variations de vitesse apparente et les rétrogradations, au prix d'une complexité croissante assumée comme la rançon de l'exactitude prédictive. Le cosmos ptoléméen est profondément relationnel : les trajectoires observables ne sont pas attribuées à des forces ou à des causes dynamiques, mais à la composition réglée de mouvements idéaux dans un espace géométriquement structuré.

Cette construction instaure une séparation nette entre astronomie mathématique et physique naturelle, Ptolémée laissant

---

les rétrogradations. L'équant est un point décalé par rapport au centre du déférent à partir duquel le mouvement angulaire est supposé uniforme, introduisant une correction mathématique supplémentaire.

volontairement en suspens la question de la réalité ontologique de ses dispositifs. Le monde reste fini, hiérarchisé, clos par la sphère des étoiles fixes, frontière ultime de l'ordre cosmique et garant de sa stabilité.

Ce modèle, d'une puissance opératoire remarquable, dominera pendant plus de quatorze siècles, non parce qu'il serait naïf ou dogmatique, mais parce qu'il constitue une synthèse extraordinairement efficace entre observation, calcul et intelligibilité formelle. Avec Ptolémée, le cosmos devient une architecture mathématique autosuffisante, où l'ordre du ciel réside entièrement dans la rigueur des relations géométriques, sans appel nécessaire à une causalité divine directe.

Aryabhata (476/550)

Avec Aryabhata, la cosmologie indienne atteint un haut niveau de formalisation mathématique tout en s'affranchissant de nombreuses intuitions naïves sur la structure du monde. Il affirme explicitement la sphéricité de la Terre et explique l'alternance du jour et de la nuit par sa rotation sur elle-même, renversant ainsi l'idée d'un ciel tournant autour d'un observateur immobile. Ce point est décisif : le mouvement apparent des astres est déjà interprété comme un effet de perspective lié au mouvement de l'observateur terrestre, intuition d'une modernité remarquable.

Le système d'Aryabhata demeure géocentrique dans son organisation globale, mais il ne s'agit plus d'un géocentrisme ontologique ou symbolique. C'est un choix de référence mathématique, assumé, pour des raisons de calcul et de prédiction. Les mouvements planétaires sont décrits à l'aide de modèles trigonométriques précis, intégrant épicycles et paramètres correctifs, avec une grande efficacité computationnelle.

Le cosmos n'est pas pensé comme une hiérarchie théologique de sphères animées par des volontés divines, mais comme un ordre régulier exprimable en nombres, cycles et relations. La Terre, bien que centrale dans les calculs, n'est plus privilégiée du point de vue dynamique : elle est un corps parmi d'autres, soumis à des lois communes.

Cette cosmologie s'inscrit dans une tradition savante où astronomie, mathématiques et calcul du temps (calendriers, éclipses)

sont étroitement liés, sans séparation nette entre science et métaphysique, mais sans intervention divine directe dans l'explication des phénomènes.

Aryabhata propose ainsi un monde profondément relationnel, où les apparences célestes résultent de la combinaison des mouvements réels et du point de vue de l'observateur, anticipant une conception relativisée du mouvement qui trouvera, bien plus tard, une formulation explicite en astronomie moderne.

Zhang Heng (78/139)

Dans la Chine ancienne de la dynastie Han, la cosmologie se développe comme une pensée de l'ordre, plutôt que comme une spéculation métaphysique abstraite. Le ciel y est conçu comme sphérique ou semi-sphérique, selon les modèles, enveloppant une Terre centrale, plane ou légèrement bombée, sans que cette centralité ait une valeur ontologique comparable au géocentrisme grec.

Le cosmos est avant tout un système régulier, cyclique, fondé sur des correspondances entre ciel, Terre et société humaine. L'astronomie est indissociable de l'administration impériale : observer les astres, mesurer le temps, prévoir les éclipses ou les anomalies célestes, relève d'une responsabilité politique majeure, car le ciel est perçu comme le miroir de l'ordre moral et institutionnel.

Zhang Heng incarne cette approche savante en combinant observation précise, modélisation mécanique et instrumentation, avec des dispositifs visant à représenter le mouvement du ciel de manière concrète et intelligible. Les phénomènes célestes ne sont pas expliqués par des dieux personnels, mais par des principes d'harmonie, de souffle et de régulation, inscrits dans une cosmologie relationnelle où chaque niveau du réel résonne avec les autres.

Le ciel n'est ni transcendant ni créateur, mais normatif. Le monde apparaît ainsi comme un système clos et intelligible, non pas par réduction géométrique, mais par correspondances fonctionnelles, où l'astronomie sert moins à décentrer l'homme qu'à inscrire son action dans un ordre cosmique régulé et lisible.

Nasir al-Din al-Tusi (1201/1274)

Chez Nasir al-Din al-Tusi, la cosmologie médiévale islamique atteint un point de sophistication critique où le système ptoléméen

est conservé tout en étant profondément réformé de l'intérieur. Al-Tusi reste géocentriste, mais son objectif n'est plus de multiplier les artifices mathématiques au nom de l'efficacité prédictive : il cherche à restaurer une cohérence conceptuelle entre les modèles astronomiques et les principes physiques hérités d'Aristote.

Son apport majeur, le célèbre « couple de Tusi »[22], montre qu'une combinaison de deux mouvements circulaires uniformes peut produire un mouvement linéaire oscillant, permettant d'expliquer certaines inégalités planétaires sans recourir à l'équant, jugé problématique sur le plan physique. Cette innovation marque une tentative explicite d'élimination partielle des dispositifs ptoléméens les plus *ad hoc*, au profit de constructions géométriques plus acceptables du point de vue des principes.

Le cosmos d'al-Tusi demeure clos, ordonné en sphères, mais il est désormais soumis à une exigence accrue de rationalité interne : la mathématique ne doit plus seulement « sauver les phénomènes », elle doit être compatible avec une intelligibilité physique minimale. La Terre reste centrale, non par privilège symbolique, mais parce que le cadre conceptuel disponible n'autorise pas encore son déplacement.

La théologie, présente en arrière-plan, ne dicte pas les modèles : Dieu garantit l'ordre et l'intelligibilité du monde, mais n'intervient pas dans les mécanismes décrits par l'astronomie. En ce sens, al-Tusi inaugure une cosmologie critique et réflexive, où les modèles sont évalués non seulement sur leur efficacité, mais sur leur légitimité conceptuelle, préparant indirectement les réformes ultérieures de l'astronomie, jusqu'à Copernic, qui héritera directement de certaines de ses constructions.

Ibn al-Shatir (vers 1304/1375)

Avec Ibn al-Shatir, l'astronomie géocentrique atteint l'un de ses points d'équilibre les plus remarquables, à la fois rigoureux, cohérent et débarrassé de plusieurs artifices hérités de Ptolémée. Employé à

[22] Un couple de Tusi est un dispositif mathématique où un petit cercle tourne à l'intérieur d'un plus grand, dont le diamètre est le double de celui du petit. Grâce à ce rapport des diamètres, chaque point de la circonférence du petit cercle décrit une trajectoire rectiligne lors de la rotation. (mathhappens.org)

Damas comme responsable du temps rituel pour les prières, Ibn al-Shatir inscrit son travail dans une tradition savante où la précision observationnelle est indissociable des exigences religieuses et calendaires.

Son apport majeur réside dans la construction de modèles planétaires entièrement dépourvus d'équant, tout en conservant une excellente exactitude prédictive. Pour y parvenir, il remanie en profondeur les systèmes de déférents et d'épicycles, en recourant à des combinaisons géométriques sophistiquées, souvent inspirées des innovations d'al-Tusi, mais poussées ici à un degré d'achèvement supérieur. Le résultat est un géocentrisme mathématiquement cohérent, respectant strictement le principe des mouvements circulaires uniformes, sans recours à des points fictifs incompatibles avec une physique raisonnable.

Le cosmos demeure clos, structuré en sphères, avec une Terre centrale choisie comme référence, non comme centre métaphysique. La théologie n'intervient qu'en arrière-plan, comme garantie ultime de l'ordre et de la régularité du monde, sans peser sur les constructions mathématiques elles-mêmes.

Ce qui, rétrospectivement, rend Ibn al-Shatir particulièrement décisif, est la proximité formelle frappante entre certains de ses modèles planétaires et ceux que Copernic proposera deux siècles plus tard, à partir d'une simple permutation du centre. Son œuvre montre que la transition vers l'héliocentrisme ne résulte pas d'une rupture brutale, mais de l'aboutissement interne d'une longue critique du modèle ptoléméen, menée au nom même de la cohérence mathématique et de l'intelligibilité du cosmos.

Thomas d'Aquin (1225/1274)

Pour Thomas d'Aquin, la cosmologie prend la forme d'une synthèse magistrale entre l'héritage aristotélicien et la théologie chrétienne, où l'ordre du monde est à la fois intelligible rationnellement et fondé métaphysiquement en Dieu. Le cosmos est conçu comme fini, clos et hiérarchisé, structuré en sphères concentriques autour d'une Terre centrale, chacune correspondant à un degré de perfection ontologique croissante.

Cette organisation n'est pas seulement descriptive, elle est profondément finalisée : chaque être possède une fin propre, inscrite

dans l'ordre global de la création. Le moteur immobile d'Aristote est pleinement théologisé : il n'est plus un principe abstrait de mouvement, mais Dieu lui-même, acte pur, cause première et fin ultime de toute chose. Toutefois, Dieu n'agit pas comme un agent mécanique dans le monde sublunaire. Il est cause de l'être et de l'ordre, non des mouvements particuliers, lesquels relèvent de causes secondes naturelles.

La cosmologie thomiste repose ainsi sur une articulation nette entre physique, métaphysique et théologie, chacune ayant son domaine propre sans contradiction possible. Le ciel, incorruptible et régulier, se distingue ontologiquement du monde sublunaire, soumis au changement et à la contingence, tout en participant d'un même dessein rationnel. Le cosmos apparaît comme un système relationnel fortement hiérarchisé, où la position centrale de la Terre n'implique aucun privilège moral ou spirituel, l'homme n'étant pas au sommet de l'échelle des êtres, mais à un point intermédiaire.

Cette vision confère au monde une stabilité conceptuelle exceptionnelle, expliquant sa longévité intellectuelle : elle offre un univers pleinement ordonné, lisible par la raison, mais ultimement fondé sur une transcendance qui garantit à la fois la nécessité des lois naturelles et leur orientation finale.

Nicolas Copernic (1473/1543)

C'est avec Nicolas Copernic que la cosmologie occidentale connaît un déplacement conceptuel décisif avec l'introduction d'un héliocentrisme géométrique qui réorganise l'ensemble du système du monde sans en bouleverser encore les cadres métaphysiques fondamentaux.

En plaçant le Soleil au centre des mouvements planétaires, Copernic ne cherche pas d'abord à révolutionner la physique, mais à restaurer une cohérence mathématique mise à mal par les raffinements successifs du système ptoléméen. Le Soleil devient le principe d'ordre autour duquel s'articulent les périodes et les distances, offrant une intelligibilité nouvelle à la structure du ciel. La Terre est désormais un astre mobile, animée d'une rotation quotidienne et d'une révolution annuelle, ce qui explique simplement les rétrogradations planétaires et certaines inégalités apparentes.

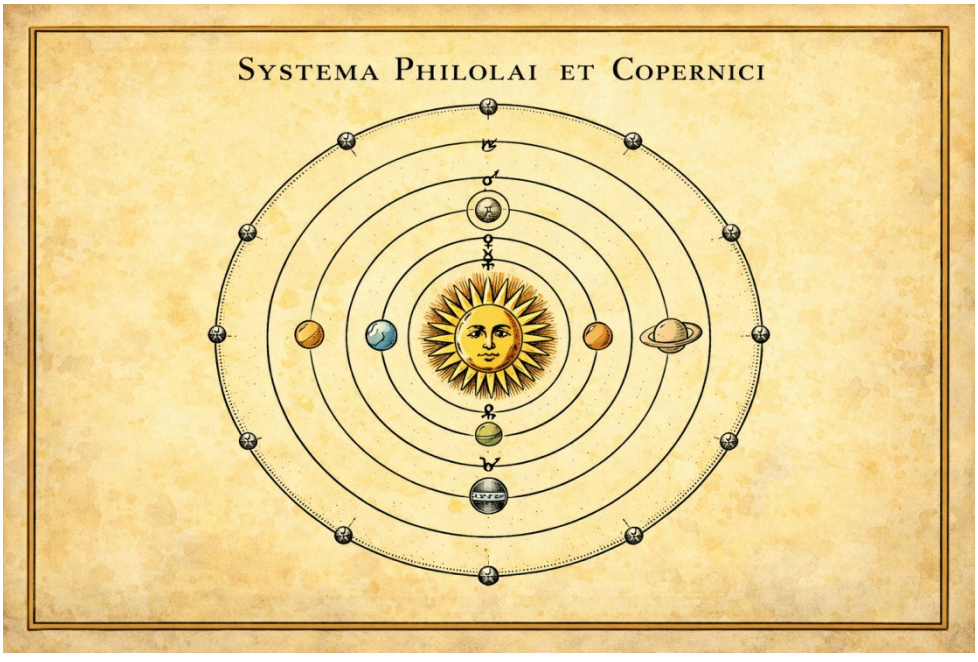

Figure 7 Avec Copernic, le monde est héliocentrique, les planètes tournant toutes autour du Soleil, les étoiles étant reléguées dans un au-delà indéfini.

Pourtant, le cosmos copernicien reste fini, clos et sphérique, borné par la sphère des étoiles fixes, dont l'immense distance rend compte de l'absence de parallaxe observable. Les mouvements demeurent circulaires et uniformes, et Copernic conserve des épicycles, non par conservatisme, mais par fidélité aux principes géométriques hérités de l'Antiquité.

La théologie n'est pas frontalement engagée : Dieu apparaît en arrière-plan comme architecte rationnel du monde, garant de l'harmonie mathématique du cosmos, mais sans intervention directe dans les mécanismes décrits. L'héliocentrisme copernicien n'est donc pas encore un décentrement existentiel ou ontologique, mais une réforme structurelle du système astronomique, profondément relationnelle, où l'ordre du monde réside dans la géométrie des rapports, plutôt que dans la centralité de la Terre. En ce sens, Copernic ouvre la voie à une transformation irréversible de la cosmologie, tout en demeurant, paradoxalement, l'héritier direct de la tradition qu'il contribue à dépasser.

Figure 8 Tycho Brahe concevait ce ciel hydride étrange d'une Terre centrale et d'un Soleil central, lui aussi, mais pour les autres planètes. Ironiquement, Kepler qui travailla (difficilement) avec Brahe, tira de ses données une cosmologie moderne au-delà des dogmes antiques.

Tycho Brahe (1546/1601)

Pour Tycho Brahe, la cosmologie de la fin du 16e siècle se situe dans une position charnière, à la fois critique à l'égard du modèle ptoléméen classique et réticente face aux implications physiques de l'héliocentrisme copernicien. Son modèle géo-héliocentrique conserve une Terre immobile au centre du monde, autour de laquelle tournent la Lune et le Soleil, tandis que les autres planètes gravitent autour de ce dernier.

Cette construction vise à concilier l'élégance géométrique du système copernicien avec les exigences physiques et observationnelles de l'époque, notamment l'absence de parallaxe stellaire mesurable, que Tycho juge incompatible avec le mouvement annuel de la Terre. Le cosmos demeure clos et sphérique, structuré par la sphère des étoiles fixes, mais il n'est plus rigide : les observations des comètes et de la supernova de 1572 conduisent Tycho à rejeter l'existence de sphères solides, ouvrant la voie à un ciel fluide et traversable.

Son approche est profondément empirique : il accumule des données d'une précision inégalée, sans recourir à des instruments optiques, établissant un nouveau standard pour l'astronomie scientifique. La centralité de la Terre n'a chez lui rien de vraiment théologique, mais relève d'un compromis conceptuel entre tradition aristotélicienne et innovations mathématiques. Dieu reste en arrière-plan comme garant de l'ordre du monde, sans intervenir dans la description des mouvements célestes.

Le système de Tycho Brahe, souvent perçu comme une solution de transition, constitue en réalité une tentative cohérente de préserver une cosmologie relationnelle stable, tout en intégrant les acquis observationnels les plus avancés. Paradoxalement, c'est précisément ce cadre, jugé conservateur, qui fournira à Kepler les données nécessaires pour rompre définitivement avec les cercles parfaits et faire basculer la cosmologie dans l'ère dynamique moderne.

Galilée (1564/1642)

Avec Galilée, la cosmologie bascule d'un ordre géométrico-métaphysique vers un univers physiquement homogène, fondé sur l'observation instrumentée et l'expérimentation. Par l'usage systématique de la lunette astronomique, Galilée opère un décentrement radical, non par spéculation, mais par faits observés : montagnes et cratères lunaires, taches solaires, phases de Vénus (dont on voit la moitié éclairée par le Soleil et l'autre dans la nuit, comme pour la Lune), satellites de Jupiter, ruinent définitivement la distinction aristotélicienne entre un monde supralunaire parfait et un monde sublunaire corruptible.

Le ciel cesse d'être un domaine ontologiquement séparé. Il devient matériellement comparable à la Terre, soumis aux mêmes irrégularités et aux mêmes lois. Cette homogénéisation physique du cosmos constitue une rupture majeure : l'ordre du monde n'est plus garanti par la perfection de cercles abstraits ou de sphères idéales, mais par la régularité mesurable des phénomènes.

Galilée ne fournit pas encore une cosmologie complète au sens structurel, mais il en détruit les fondations anciennes en imposant une nouvelle norme de vérité, fondée sur l'observation contrôlée et le langage mathématique. Son adhésion au système de Copernic est d'abord physique et phénoménale : les phases de Vénus rendent le

géocentrisme intenable, indépendamment de toute considération métaphysique. La Terre devient un corps parmi d'autres, animé de mouvements naturels, et non plus un centre d'exception.

Dieu n'est pas nié, mais relégué hors du champ explicatif de la science : la nature est un livre écrit en langage mathématique, lisible sans recours à une finalité théologique. Avec Galilée, le cosmos perd son caractère hiérarchique et finalisé pour devenir un espace continu, unifié, soumis à des lois universelles, ouvrant la voie à une cosmologie pleinement physique où l'intelligibilité du monde repose sur l'expérience et le calcul, et non plus sur l'autorité des traditions.

Giordano Bruno (1548/1600)

Pour Giordano Bruno, la cosmologie quitte définitivement le cadre du monde clos antique et médiéval pour entrer dans une pensée de l'infini, à la fois cosmologique, métaphysique et théologique. S'appuyant sur l'héliocentrisme copernicien, mais en le radicalisant, Bruno supprime la sphère des étoiles fixes et rejette toute idée de centre cosmique absolu : l'univers est infini, sans bord, sans hiérarchie spatiale, sans structure sphérique ultime.

Les étoiles ne sont plus des luminaires enchâssés dans un ciel, mais des soleils lointains, chacun potentiellement entouré de mondes analogues au nôtre, habités ou non. Ce pluralisme cosmique dissout toute centralité terrestre et tout privilège cosmologique de l'homme, au profit d'un univers indéfiniment proliférant. La disparition des sphères marque aussi l'abandon d'un cosmos mécaniquement ordonné par enveloppes concentriques. L'espace devient homogène, ouvert, continu.

Toutefois, cette infinité n'est pas celle d'une physique mathématisée moderne : elle est d'abord métaphysique. L'univers infini est l'expression directe d'un principe divin infini, immanent au monde, et non séparé de lui. Dieu n'est plus extérieur au cosmos comme architecte transcendant, mais présent en toute chose comme cause interne et principe vital. La cosmologie de Bruno est ainsi profondément relationnelle : chaque monde est un centre relatif, chaque point de l'espace participe également de l'être.

Cette vision, philosophiquement audacieuse et théologiquement explosive, excède largement les données observationnelles disponibles et se heurte frontalement à l'ordre doctrinal de son

temps. Bruno ne fonde pas une astronomie scientifique, mais il opère un basculement conceptuel irréversible : l'univers cesse d'être une structure finie à comprendre pour devenir un infini à penser, où la cosmologie devient indissociable d'une ontologie de l'infinité et d'une refonte radicale de la place de l'homme dans le monde.

Figure 9 Pour Kepler les planètes décrivent des orbites elliptiques autour du Soleil. La cosmologie képlérienne est à la fois mécaniste et téléologique, mathématique et spirituelle.

Johannes Kepler (1571/1630)

Johannes Kepler fait franchir à la cosmologie moderne un seuil décisif en rompant explicitement avec l'idéal antique de la perfection circulaire au profit d'un ordre mathématique fondé sur la réalité des phénomènes. En établissant que les planètes décrivent des orbites elliptiques[23] autour du Soleil, Kepler abandonne l'un des dogmes les plus enracinés de la tradition cosmologique, celui du mouvement circulaire uniforme comme signature nécessaire de la perfection céleste.

[23] L'ellipse, en géométrie, est la forme qu'on perçoit en regardant un cercle en perspective, ou la figure formée par l'ombre d'un disque sur une surface plane.

Cette rupture n'est pas un simple ajustement technique : elle transforme la structure même du cosmos, désormais pensé comme un système gouverné par des lois mathématiques précises, universelles et contraignantes. Les trois lois de Kepler décrivent un monde où les vitesses varient, où les distances importent, et où l'ordre du ciel n'est plus géométriquement idéal, mais rigoureusement calculable.

Pourtant, ce cosmos n'est pas dépourvu de finalité : Kepler demeure profondément convaincu que la structure mathématique du monde exprime un dessein divin. Les lois ne sont pas seulement des régularités empiriques, elles sont les traces intelligibles de l'harmonie voulue par Dieu. Le Soleil, placé au centre, n'est pas qu'un repère géométrique, mais un principe quasi moteur, irradiant ordre et mouvement.

La cosmologie képlérienne est ainsi à la fois mécaniste et téléologique, mathématique et spirituelle, située à l'interface des deux mondes. Elle marque la fin définitive du cosmos clos de sphères parfaites, sans encore basculer dans une physique strictement dynamique au sens newtonien. Avec Kepler, le ciel devient un espace de relations quantitatives exactes, où l'intelligibilité du monde repose sur la loi plutôt que sur la forme, et où la rationalité mathématique se confond avec la lecture d'un ordre cosmique profondément signifiant.

Isaac Newton (1643/1727)

Enfin, avec Isaac Newton, la cosmologie bascule définitivement dans un univers infini, homogène et unifié par des lois universelles, marquant l'achèvement du processus de désagrégation du cosmos hiérarchisé antique. Avec la loi de la gravitation universelle et les principes de la mécanique, les mouvements célestes et terrestres relèvent désormais d'un même cadre explicatif : les mêmes lois gouvernent la chute d'une pierre et la trajectoire des planètes.

Les sphères célestes disparaissent définitivement, remplacées par un espace infini, isotrope, sans centre privilégié, dans lequel les corps interagissent à distance. Le cosmos newtonien n'est plus ordonné par des formes géométriques idéales ni par une finalité interne, mais par des relations dynamiques quantitatives, exprimables mathématiquement, avec une précision inédite. L'univers peut être

spatialement infini et éternellement stable, du moins en première approximation, sans qu'il soit nécessaire de supposer une architecture cosmique close.

La théologie, chez Newton, est présente mais minimale et extérieure au champ explicatif de la physique : Dieu est le créateur et le garant ultime de l'ordre et des lois, non leur concurrent causal. Il n'intervient pas dans les calculs, mais fonde métaphysiquement la rationalité du monde et l'existence même de l'espace et du temps absolus. Cette séparation stricte entre lois naturelles et fondement théologique permet à la cosmologie de devenir pleinement scientifique, autonome et cumulative. Le cosmos newtonien est ainsi relationnel au sens dynamique : ce sont les forces et les interactions qui structurent l'univers, non des positions hiérarchiques ou des essences.

Avec Newton s'impose une image du monde profondément décentrée, où l'homme n'occupe aucune place cosmique particulière, et où l'intelligibilité de l'univers repose entièrement sur la stabilité et l'universalité des lois, ouvrant la voie à la cosmologie moderne et à toutes ses extensions ultérieures.

EN CONCLUSION

Ce long parcours, des cosmologies antiques tardives jusqu'à Newton, dessine une transformation profonde du rapport au ciel : on passe d'un cosmos interprété, chargé de sens symbolique, théologique ou métaphysique, à un ciel progressivement objectivé, mesuré, soumis à des procédures de calcul, d'observation et de vérification. Nous verrons qu'à la Renaissance, jusqu'à l'époque moderne, le ciel cessera d'être un ordre à contempler pour devenir un espace à quantifier.

Copernic, Tycho, Galilée, Kepler, puis Newton n'abolissent pas immédiatement les cadres hérités, mais ils déplacent irréversiblement le centre de gravité de la cosmologie : l'intelligibilité ne repose plus sur la hiérarchie, la finalité ou la perfection formelle, mais sur la régularité mesurable des phénomènes. Le cosmos devient progressivement un espace géométrique, puis dynamique, homogène, régi par des lois universelles, indépendantes de la position de l'observateur.

Cette mutation prépare directement ce qui suivra au 20e siècle : l'idée que l'univers n'est pas seulement structuré, mais mesurable dans son extension, son âge, sa densité, et que les objets célestes eux-mêmes peuvent être classés, comparés et comptés. Nous verrons qu'avant Edwin Hubble, le ciel moderne est déjà un espace physique continu, mais il reste encore un cosmos sans véritable échelle cosmique fiable, où la Voie lactée demeure souvent l'horizon ultime. Le « ciel mesuré », d'avant 1920[24], n'est donc pas une rupture brutale, mais l'aboutissement logique d'un lent désenchantement géométrique du monde, amorcé dès la Renaissance.

Si l'on tente une évaluation synthétique des tailles et des formes des principales cosmologies entre le Moyen Âge et la Renaissance, on observe une évolution moins linéaire qu'il n'y paraît, mais très significative. Le cosmos médiéval aristotélico-chrétien est fini, clos, sphérique, d'un diamètre relativement modeste à l'échelle moderne : la sphère des étoiles fixes se situe à quelques dizaines de milliers de rayons terrestres, soit un univers encore « compact », entièrement centré sur une Terre sphérique, mais conceptuellement héritée de cartes du monde longtemps limitées au bassin méditerranéen et à l'Ancien Monde.

La Renaissance conservera cette clôture cosmique, mais la représentation de la Terre va se transformer : la sphéricité est pleinement intégrée, les continents s'étendent, l'inclusion des Amériques agrandit symboliquement le monde habité sans modifier immédiatement la taille du cosmos.

Chez Copernic et Kepler, le cosmos reste fini et sphérique, mais il s'élargit considérablement : la distance aux étoiles fixes devient immense, quasi indéterminée, pour expliquer l'absence de parallaxe[25]. Avec Tycho, puis Galilée, les sphères solides disparaissent, sans que l'univers devienne encore explicitement infini. Newton, enfin, impose un espace infini, homogène, sans

[24] 1920 étant la date de début des travaux d'Edwin Hubble, au moins jusqu'en 1930, avec le nouveau et plus puissant télescope de l'époque, le télescope Hooker, de 2,50 m de diamètre, installé sur le Mont Wilson.

[25] La parallaxe stellaire est le changement apparent de position de toute étoile sur un fond d'étoiles lointaines. À une échelle plus réduite, vous pouvez observer un effet de parallaxe en tendant verticalement votre index à bout de bras, en visant un objet proche et en fermant tantôt l'œil droit et l'œil gauche.

centre géométrique privilégié, où la Terre n'est plus qu'un corps parmi d'autres, définitivement décentré, tant physiquement que symboliquement.

Ainsi, du Moyen Âge à l'époque moderne, on ne passe pas simplement d'une Terre plate à une Terre sphérique, ni d'un petit monde à un grand univers, mais d'un cosmos centré et hiérarchisé à un espace ouvert, mathématiquement structuré, où la taille du monde cesse d'être une donnée cosmologique essentielle pour devenir une question empirique encore largement indéterminée à la veille de Hubble.

Si l'on considère le modèle de Johannes Kepler, le cosmos reste fini, clos et sphérique, même s'il est déjà immensément dilaté par rapport à celui du Moyen Âge. La Terre est pleinement sphérique, sa taille est connue avec une bonne approximation, et le système solaire possède désormais une échelle interne cohérente grâce aux rapports harmoniques des orbites.

En chiffres, on peut proposer des ordres de grandeur raisonnables, compatibles avec les conceptions képlériennes. La distance Terre-Soleil est de l'ordre de 150 millions de kilomètres (1 unité astronomique, même si Kepler ne connaît pas sa valeur absolue avec précision). L'orbite de Saturne, la planète la plus éloignée connue à l'époque, se situe à environ 10 unités astronomiques, soit environ 1,5 milliard de kilomètres du Soleil. Jusque-là, le cosmos reste encore « compact ». Mais la rupture intervient avec les étoiles fixes : pour Kepler, elles doivent être situées à des distances énormes, au minimum plusieurs milliers, voire plusieurs dizaines de milliers d'unités astronomiques, afin que le déplacement annuel de la Terre ne produise aucune parallaxe détectable.

Si l'on traduit cela en kilomètres, une étoile située à seulement 10 000 unités astronomiques correspond déjà à environ 150 milliards de kilomètres de rayon. À 100 000 unités astronomiques, on atteint 15 mille milliards de kilomètres. Ces chiffres restent très inférieurs aux distances stellaires réelles que l'on mesurera au 19^{e} siècle, mais ils représentent, pour l'époque, un univers proprement vertigineux. Le diamètre total du cosmos képlérien se situerait donc plausiblement entre 3 mille et 30 mille milliards de kilomètres, voire davantage selon les estimations implicites.

Ce point est conceptuellement crucial : chez Kepler, le monde est encore fini, mais sa taille n'est plus proportionnée au système

planétaire ni à l'expérience humaine. Le cosmos devient un objet mathématiquement structuré, mais spatialement démesuré, presque indifférent à l'échelle terrestre. On est déjà dans un univers où la finitude n'a plus de valeur intuitive, seulement théorique. C'est précisément cette tension entre, un monde clos, mais pratiquement sans borne mesurable, qui prépare la bascule newtonienne vers l'infini, puis, plus tard, la question moderne de la taille réelle de l'univers, qui ne pourra être reposée qu'avec la mesure effective des distances stellaires et extragalactiques.

Deuxième partie

LE CIEL MESURÉ

1. L'univers sidéral

De la Renaissance, jusqu'à l'époque moderne, le cosmos va devenir un espace à quantifier et, comme nous venons de le dire, il devient un espace géométrique, puis dynamique, homogène, régi par des lois universelles, indépendantes de la position de l'observateur.

Si l'on se place à présent strictement dans le cadre newtonien, on ne peut plus donner une taille finie en kilomètres, parce que l'univers de Newton est explicitement infini. Il n'a ni bord, ni sphère des étoiles fixes, ni rayon cosmique définissable. L'espace est absolu, homogène, sans centre géométrique, et s'étend indéfiniment dans toutes les directions. En ce sens, toute tentative de chiffrage global est conceptuellement exclue du modèle.

En revanche, si l'on adopte un point de vue plus historique et pragmatique, observationnel, c'est-à-dire ce qu'un savant newtonien de la fin du 17e ou du 18e siècle pouvait raisonnablement estimer, on peut donner des ordres de grandeur, pour l'univers, effectivement pensables ou observables à l'époque. La Terre est sphérique, de rayon connu à quelques pourcents près (environ 6 400 km). La distance Terre-Soleil est évaluée avec une précision croissante au 18e siècle, autour de 150 millions de kilomètres. Les distances stellaires, en revanche, restent hors de portée : l'absence de parallaxe mesurable impose des distances minimales immenses, sans borne supérieure. On parle alors de dizaines de milliers de milliards de kilomètres, voire bien davantage.

Il est important de noter que, chez Newton, cette indétermination n'est pas un défaut, mais une conséquence logique de son modèle. L'infinité de l'espace permet d'éviter un centre gravitationnel global et garantit une distribution des étoiles sans effondrement cosmique généralisé. La cosmologie newtonienne remplace ainsi une taille finie, mais mal connue, par une absence assumée de taille. Le cosmos n'est plus un objet mesurable dans son ensemble, mais un cadre infini à l'intérieur duquel seules des distances locales peuvent être évaluées.

C'est précisément cette situation, paradoxale, mais stable, qui perdurera jusqu'au 19e siècle : un univers mathématiquement infini, physiquement unifié, mais empiriquement sans échelle cosmique

globale, juste avant que la question de la taille réelle de l'univers ne redevienne centrale avec l'astronomie extragalactique et, finalement, Edwin Hubble et son grand télescope.

Le paradoxe newtonien est donc le suivant : l'univers est infini, en théorie, mais il n'existe pas d'étoiles hors de la Voie lactée, car les limites des observations astronomiques, à son époque, ne permettent pas d'aller au-delà. La distinction entre étoiles galactiques (dans la Voie lactée) et objets extragalactiques (hors de la Voie lactée) n'existe tout simplement pas. La Voie lactée est comprise comme l'ensemble des étoiles visibles, un vaste amas ou une distribution particulière d'étoiles dans l'espace, mais elle n'est pas identifiée comme une galaxie parmi d'autres.

Newton sait, dans la lignée de Galilée, que la Voie lactée est constituée d'une multitude d'étoiles trop faibles pour être vues individuellement à l'œil nu. Les lunettes de type « Galilée » de l'époque ne font que suggérer que la Voie lactée est constituée d'un nombre gigantesque d'étoiles, si nombreuses qu'elles semblent former un tissu continu. En revanche, les nébuleuses observées au télescope sont encore interprétées de manière ambiguë : soit comme des amas d'étoiles non résolus, soit comme des phénomènes lumineux diffus internes au monde stellaire. Il n'existe, chez Newton, aucune notion d'univers-îles, à la Kant[26], ni l'idée que certaines nébuleuses puissent être des systèmes stellaires indépendants comparables à la Voie lactée.

Cela dit, Newton conçoit un univers spatialement infini peuplé d'étoiles distribuées sans centre global. Il imagine même des ensembles stellaires relativement autonomes pour éviter un effondrement gravitationnel généralisé. Mais ces ensembles ne correspondent pas encore à des galaxies au sens astrophysique : ils restent des regroupements d'étoiles dans un même espace cosmique continu, sans statut ontologique distinct.

[26] Dès 1755, Emmanuel Kant évoque l'idée d'« univers-îles », désignant des systèmes stellaires autonomes, analogues à la Voie lactée, séparés par de vastes étendues obscures. Cette hypothèse, longtemps ignorée, constitue une anticipation conceptuelle remarquable de la cosmologie extragalactique du 20e siècle, formulée bien avant que les preuves empiriques d'Edwin Hubble ne la confirment.

En résumé, Newton pense un univers infini rempli d'étoiles, mais pas un univers composé de galaxies multiples. Toutes les étoiles connues appartiennent implicitement à un même « monde stellaire », que nous appelons aujourd'hui la Voie lactée, sans que celle-ci soit reconnue comme une entité particulière parmi d'autres. La véritable extériorisation des nébuleuses, hors de la Voie lactée, et donc la découverte d'autres galaxies, ne deviendra possible qu'au 20e siècle, avec la mesure des distances extragalactiques, bien après Newton.

On doit ici reconnaître le génie d'Isaac Newton, capable d'aller au-delà des évidences observationnelles de son époque et de placer sa confiance dans une théorie, la gravitation universelle, et dans des calculs, qui dessinent un « petit » ciel étoilé autour de la Terre et un espace au-delà, apparemment vide et infini.

Pour Newton, l'univers stellaire observable correspond de fait à ce que nous appelons aujourd'hui la Voie lactée, même s'il ne la conceptualise pas comme une galaxie distincte. Ainsi, les seules distances concrètement envisageables concernent les étoiles visibles. Les bornes minimales imposées par l'absence de parallaxe conduisent à des distances stellaires immensément sous-estimées par rapport aux mesures modernes. On est alors dans des ordres de grandeur de 1 000 milliards à 100 000 milliards de kilomètres, alors que la Voie lactée a aujourd'hui un diamètre estimé d'environ 1 000 millions de milliards de kilomètres. L'erreur est donc gigantesque, de plusieurs ordres de grandeur, même pour notre seule galaxie.

Il faut toutefois insister sur le fait qu'il ne s'agit pas d'une erreur au sens scientifique moderne, mais d'une indétermination structurelle. Newton ne se trompe pas dans un calcul : il travaille dans un cadre où la mesure des distances stellaires est techniquement impossible et conceptuellement secondaire. L'univers newtonien est infini par principe, mais empiriquement accessible uniquement à travers un voisinage stellaire extrêmement mal échelonné.

En résumé, avant Hubble, et même bien après Newton, la « taille de l'univers » se confond, *de facto*, avec la taille supposée du monde stellaire visible, c'est-à-dire une proto-Voie lactée largement sous-estimée. Ce n'est qu'avec la reconnaissance des galaxies comme entités autonomes, puis avec la mesure de leurs distances, que l'univers cessera d'être confondu avec notre environnement stellaire

immédiat et acquerra une véritable échelle cosmique. Ce que nous verrons avec l'univers de Hubble.

De la Renaissance à 1920, avec une forte continuité instrumentale et conceptuelle du 17e au 19e siècle, les astronomes décrivent un univers « sidéral », constitué d'astres. À commencer par ce ciel étoilé, que nous avons tous pu contempler, dès notre enfance, à l'instar de nos lointains ancêtres préhistoriques, les nuits d'été, nous donnant, nous le savons à présent, une fausse impression d'infini et d'aimables illusions : « Maman, regarde ! La Lune nous suit ! »[27] En quoi consiste donc l'univers sidéral ?

Les étoiles fixes ponctuelles

Dans l'univers lactique tel qu'il se donne à voir de la Renaissance jusqu'à la fin du 19e siècle, l'élément fondamental du ciel demeure l'étoile fixe, ponctuelle, irréductiblement non résolue, même aux plus forts grossissements accessibles. Ces étoiles sont perçues comme des points lumineux sans étendue (la ponctualité), incrustés sur la sphère céleste, organisés selon des figures héritées de l'Antiquité, les constellations zodiacales, qui structurent la lecture du ciel bien plus que toute considération physique.

Leur diversité est d'abord appréhendée par l'éclat : une hiérarchie empirique de magnitudes, de la première à la sixième grandeur, fournit un classement simple, mais opérant, sans implication sur la distance ou la taille intrinsèque. La quasi-absence de parallaxe mesurable jusqu'au 19e siècle renforce l'idée d'un firmament globalement immobile et équidistant, enfermant la Terre dans une enveloppe stellaire immense, mais close.

Quelques observateurs notent cependant des différences de teinte : étoiles rougeâtres, jaunâtres ou légèrement bleutées. Sans que ces variations chromatiques ne débouchent sur une interprétation physique cohérente. L'ensemble compose un ciel ordonné, stable, presque architectural, donnant l'impression d'une sphère céleste homogène, régulière et enveloppante, au sein de laquelle la Terre occupe naturellement une position centrale, non par privilège théologique, mais par évidence observationnelle.

[27] La Lune étant à 384 000 kilomètres de la Terre, l'effet de parallaxe, qui fonctionne pour le paysage proche, disparaît, donnant cette impression d'être suivi par l'astre sélène.

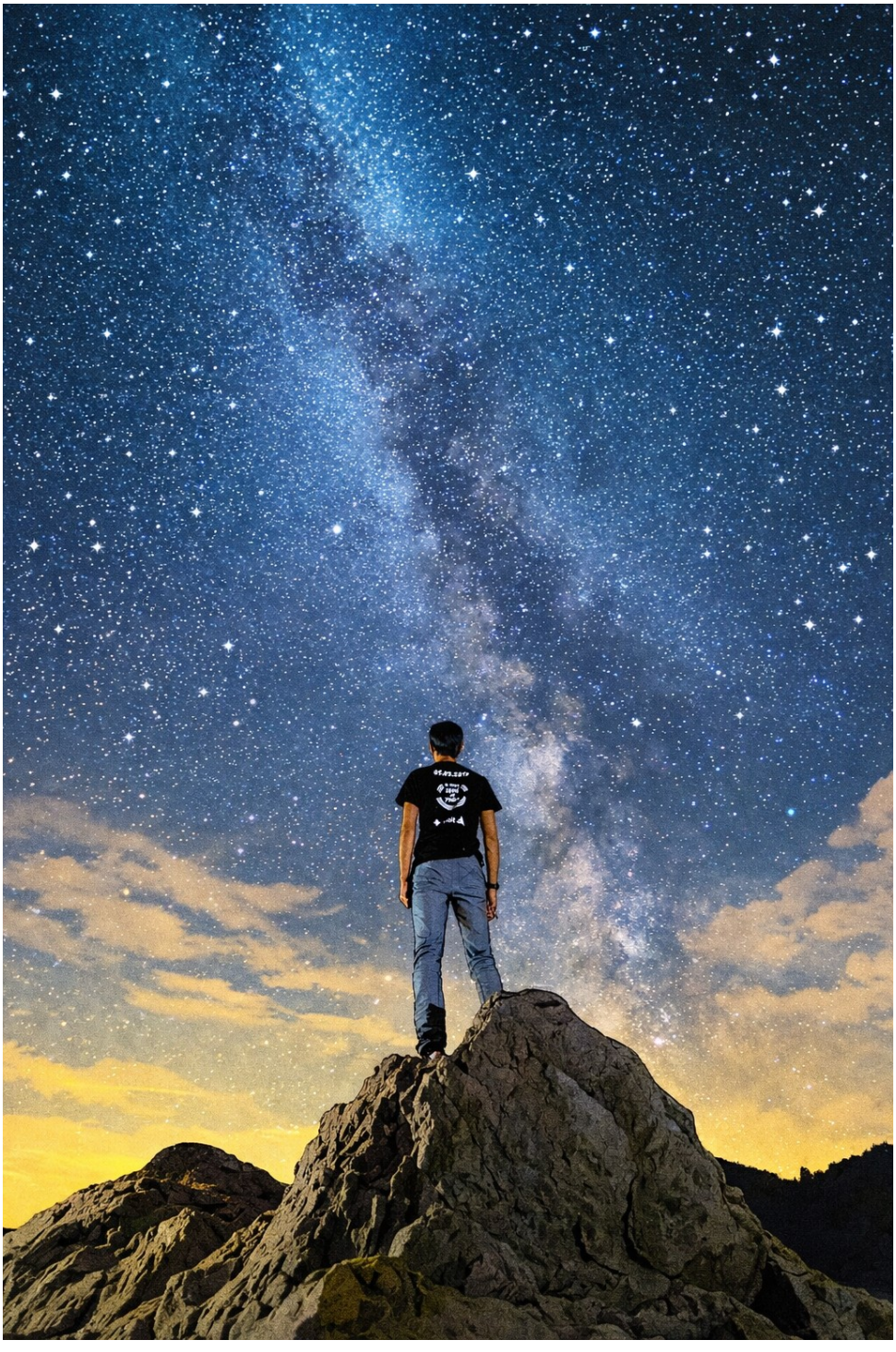

Figure 10 Pour Galilée cette lueur laiteuse dans la nuit est comprise comme une accumulation d'étoiles innombrables : la Voie lactée.

La Voie lactée

La bande lactée constitue, pour l'observateur pré-1920, l'élément le plus énigmatique et le plus structurant du ciel nocturne. Visible à l'œil nu comme un large nuage lumineux, irrégulier, traversant la sphère céleste selon un grand cercle incliné, elle n'apparaît ni ponctuelle ni clairement délimitée, mais diffuse, granuleuse, parfois effilochée.

À partir de Galilée, l'usage de la lunette conduit à une interprétation décisive : cette lueur laiteuse est comprise comme une accumulation d'étoiles innombrables, trop faibles ou trop serrées pour être résolues individuellement. Toutefois, cette résolution partielle ne dissipe pas le mystère, elle l'approfondit.

La Voie lactée présente des zones de renforcement lumineux, des régions plus ténues, et surtout des lacunes sombres, perçues tantôt comme des vides stellaires, tantôt comme des fissures ou des absences dans la structure du ciel. Aucune frontière nette n'en marque les bords, et aucune profondeur ne peut lui être assignée : elle semble à la fois proche par sa visibilité et infinie par son extension.

À la toute fin du 19e siècle, l'essor de la photographie astronomique permet enfin de documenter systématiquement le ciel de l'hémisphère Sud, jusque-là connu surtout par des descriptions qualitatives. Les premières plaques révèlent une Voie lactée nettement plus lumineuse, plus épaisse et plus structurée que celle visible depuis les latitudes nord, en particulier dans les régions du Sagittaire et du Scorpion. Cette vision accentue l'impression d'une forte dissymétrie du ciel sidéral, avec des concentrations stellaires spectaculaires et des zones sombres plus marquées, sans toutefois remettre en cause le cadre interprétatif dominant : il s'agit toujours d'un unique système lactique englobant, simplement observé sous un angle plus favorable. Ces images enrichissent puissamment la description du ciel, mais restent encore intégrées à l'univers Voie lactée d'avant la rupture conceptuelle des années 1920-30.

L'absence de limite perceptible pour la Voie lactée, contribue à l'idée d'un système stellaire englobant, enveloppant la Terre sans centre identifiable, et dans lequel le ciel étoilé ordinaire apparaît comme une simple raréfaction périphérique. La bande lactée devient ainsi l'ossature visuelle de l'univers, à la fois objet et décor, sans que son statut spatial réel puisse être fixé avant le 20e siècle.

Les amas d'étoiles

Les amas d'étoiles ouverts constituent, pour l'observateur à la lunette, une catégorie intermédiaire entre l'étoile isolée et la nébulosité diffuse. Certains, comme les Pléiades ou les Hyades, sont déjà visibles à l'œil nu, mais prennent à l'instrument une consistance nouvelle, se révélant comme des regroupements d'étoiles distinctes, liées spatialement, parfois serrées, parfois lâches.

D'autres amas, notamment dans Persée ou le long de la bande lactée, n'apparaissent qu'à la lunette, se présentant comme des taches granuleuses partiellement résolues, dont la nature stellaire devient progressivement évidente avec l'augmentation du grossissement.

Ces objets ne posent pas de difficulté ontologique majeure : ils sont spontanément interprétés comme des concentrations locales d'étoiles, intégrées sans ambiguïté à la Voie lactée. Leur distribution privilégiée le long de la bande lactée renforce l'idée d'un système stellaire structuré, non homogène, présentant des régions de densité accrue.

Ces amas suggèrent aussi une diversité d'échelles dans l'organisation du ciel : l'étoile n'est plus seulement une unité isolée, mais peut appartenir à des groupements cohérents. Sans remettre en cause l'image globale d'un firmament enveloppant, les amas ouverts introduisent une première stratification interne du ciel lactique, faite de nœuds, de concentrations et de hiérarchies locales, perceptibles bien avant toute modélisation dynamique ou évolutive.

Les amas globulaires

Les amas globulaires occupent une place singulière dans le ciel observé à la lunette, précisément parce qu'ils résistent longtemps à une interprétation simple. Ils apparaissent comme des taches circulaires ou légèrement elliptiques, à luminosité concentrée vers le centre, parfois d'aspect granuleux, mais rarement pleinement résolues en étoiles distinctes avant l'usage des grands instruments du 19^{e} siècle. Leur morphologie compacte les distingue nettement des nébuleuses diffuses, tout en les maintenant à distance de l'étoile ponctuelle.

Figure 11 Un amas globulaire est un regroupement d'étoiles très dense, contenant typiquement une centaine de milliers d'astres. Ici, l'amas globulaire M80.

Un trait particulièrement troublant pour les observateurs est leur distribution : beaucoup semblent situés en dehors de la bande lactée visible, là où la densité stellaire paraît faible. Cette localisation apparente entre en tension avec une conception strictement galactocentrée du ciel, dans laquelle la Voie lactée constituerait l'ossature exclusive du système stellaire.

Faut-il y voir des condensations périphériques, des objets situés à grande distance, ou des structures d'une autre nature ? Faute de parallaxe et de repères de profondeur, la question reste ouverte. Les

amas globulaires introduisent ainsi une dissonance discrète, mais persistante, dans l'univers lactique : ils suggèrent une architecture plus étendue et plus complexe que celle d'un simple disque lumineux, sans fournir encore les moyens observationnels de pleinement penser cette architecture.

Les nébuleuses diffuses

Les nébuleuses diffuses irrégulières apparaissent à l'observation comme des étendues lumineuses floues, sans contour précis, souvent enchâssées dans la bande lactée ou à son voisinage immédiat. Des régions comme celles d'Orion ou de la Carène se présentent comme des nuages pâles, parfois striés ou inégalement éclairés, dont la forme semble changeante selon l'instrument et les conditions d'observation.

À la lunette, elles ne se résolvent pas en étoiles distinctes, ou seulement de manière très marginale, ce qui les distingue à la fois des amas stellaires et des étoiles ponctuelles. Leur lumière est perçue comme continue, douce, presque laiteuse, renforçant l'idée d'une substance étendue plutôt que d'un assemblage discret. Dès lors, elles sont fréquemment interprétées comme des régions de matière diffuse, voire comme une « matière primitive » cosmique, un fluide lumineux intermédiaire entre l'étoile et le vide.

Leur association préférentielle avec la Voie lactée conforte l'idée qu'elles appartiennent pleinement au système lactique, sans extériorité possible. Ces objets contribuent ainsi à une vision du ciel où l'espace n'est pas vide, mais rempli de degrés intermédiaires de luminosité et de matière, encore mal différenciés conceptuellement, et où la frontière entre étoile, nébulosité et milieu cosmique demeure floue jusqu'à la fin du 19^{e} siècle.

Les nébuleuses planétaires

Les nébuleuses planétaires, comme la nébuleuse de l'Haltère, première découverte par Messier en 1764, constituent une catégorie très tôt reconnue comme distincte dans le ciel observé à la lunette, en raison de leur morphologie singulière. Elles apparaissent comme de petits disques circulaires ou elliptiques, d'un éclat relativement uniforme, nettement non stellaire, parfois entourés d'un bord plus marqué. À faible grossissement, leur aspect évoque celui de planètes

lointaines, ce qui explique leur dénomination historique, bien qu'aucun mouvement propre ne vienne confirmer une telle parenté.

Certaines présentent une teinte verdâtre ou bleuâtre, perceptible visuellement, renforçant leur caractère étrange et irréductible aux catégories classiques du ciel. Contrairement aux nébuleuses diffuses, elles possèdent des contours relativement nets, et contrairement aux amas, elles ne se résolvent pas en étoiles.

Dès le 18e siècle, cette cohérence morphologique conduit les observateurs à les classer à part, comme une famille spécifique d'objets célestes, sans que leur nature physique soit comprise. Les nébuleuses planétaires introduisent ainsi l'idée qu'il existe, au sein de l'univers lactique, des formes lumineuses autonomes, ni stellaires ni nébuleuses au sens large, mais appartenant à une catégorie intermédiaire, définie d'abord par l'apparence plutôt que par l'origine.

À la fin du 19e siècle, l'analyse spectroscopique permit d'établir que les nébuleuses planétaires sont constituées de gaz lumineux, et non d'un continuum stellaire. Leur spectre discontinu indique une émission propre à un gaz ionisé, distincte de celle des étoiles. Elles sont dès lors interprétées comme des enveloppes gazeuses excitées, associées à une étoile centrale faible ou invisible. Leur petite taille apparente et leur forte luminosité confirment leur nature locale et stellaire, sans lien avec la formation de systèmes planétaires ou galactiques.

Les nébuleuses spirales

Les nébuleuses spirales occupent, à la fin du 19e siècle, une position profondément ambiguë dans la description du ciel. Observables uniquement avec les plus grands instruments, elles apparaissent comme des objets en forme de disque ou ovales, présentant une structure interne organisée en bras spiralés, parfois soulignée par une texture granuleuse. Des objets comme la galaxie d'Andromède ou celle du Tourbillon se distinguent clairement des nébuleuses diffuses par leur symétrie et leur cohérence morphologique, sans pour autant se résoudre en étoiles individuelles.

Figure 12 Non encore reconnues comme des galaxies, les nébuleuses spirales le deviendront dès 1920 avec les observations et calculs d'Edwin Hubble.

Cette organisation visible suggère un ordre interne, mais sans fournir d'indice fiable sur la distance ou l'échelle réelle de ces objets. Faute de parallaxe et de repères dynamiques, leur statut reste indécidable. Certains astronomes les interprètent comme des systèmes stellaires en formation, des condensations primordiales à l'intérieur de la Voie lactée. D'autres les considèrent comme des structures particulières du milieu lactique, vues sous un angle favorable.

L'idée qu'elles puissent constituer des systèmes stellaires autonomes comparables à la Voie lactée elle-même est parfois évoquée, mais demeure marginale et spéculative. Ainsi, les nébuleuses spirales représentent, dans l'univers lactique d'avant 1920, le point de tension maximal entre description morphologique et interprétation cosmologique. Un objet visuellement riche, mais

conceptuellement indécidable, suspendu entre l'interne et l'externe du ciel étoilé.

Les étoiles doubles et multiples

Les étoiles doubles et multiples offrent, dès les premières observations à la lunette, une complexification notable du ciel sidéral. Elles apparaissent comme des couples ou des petits groupes d'étoiles proches, parfois nettement séparées, parfois presque confondues, suscitant d'abord l'hypothèse d'alignements fortuits sur la sphère céleste.

Ce n'est qu'avec la répétition des observations, étalées sur des décennies, que certaines paires révèlent des variations lentes de position relative, incompatibles avec une simple coïncidence visuelle. Ces mouvements conduisent progressivement à reconnaître l'existence de systèmes physiques liés, dans lesquels les étoiles gravitent les unes autour des autres.

Cette découverte introduit une rupture conceptuelle discrète, mais profonde : l'étoile cesse d'être nécessairement une entité isolée, autonome et immobile dans le firmament. À l'échelle locale, le ciel se révèle structuré par des relations dynamiques, invisibles à l'œil nu, mais accessibles à l'observation prolongée.

Les étoiles doubles et multiples suggèrent ainsi que l'ordre du ciel ne réside pas seulement dans la géométrie apparente des constellations, mais aussi dans des architectures gravitationnelles fines, inscrites dans la durée, qui préfigurent une compréhension plus dynamique de l'univers lactique.

Les étoiles variables

Les étoiles variables introduisent, très tôt, une fissure conceptuelle dans l'idée d'un ciel immuable. Repérées par des variations parfois lentes, parfois rapides de leur éclat, certaines deviennent emblématiques, comme Mira ou Algol, précisément parce que leur comportement contredit la stabilité attendue des étoiles fixes.

À l'œil nu ou à la lunette, ces changements de luminosité ne peuvent être attribués ni à des défauts instrumentaux ni à des phénomènes atmosphériques, tant leur régularité ou leur récurrence finit par s'imposer. Le ciel cesse alors d'être un simple décor figé : il

devient un théâtre de transformations mesurables, inscrites dans le temps.

Ces variations posent des questions profondes, longtemps sans réponse, sur la nature même des étoiles : s'agit-il de pulsations intrinsèques, d'occultations, de phénomènes transitoires ? Faute de modèles physiques adéquats, l'interprétation reste descriptive, mais l'impact conceptuel est considérable.

Les étoiles variables imposent l'idée que le temps fait partie intégrante du firmament, que le ciel évolue, même à l'échelle des générations humaines. Elles contribuent ainsi à déplacer l'astronomie d'une science de la position, vers une science du changement, sans pour autant rompre encore avec l'univers lactique comme cadre global et englobant.

Les novæ

Les novæ, *stella novæ*[28] (étoiles nouvelles), constituent des événements décisifs dans l'histoire du ciel observé, précisément parce qu'elles surgissent là où rien n'était attendu. L'apparition soudaine d'astres brillants en 1572, puis en 1604, visibles à l'œil nu, pendant des semaines, voire des mois, bouleverse profondément la conception héritée des cieux immuables.

Observées et décrites avec rigueur par des astronomes comme Tycho Brahe, puis Johannes Kepler, ces étoiles nouvelles montrent l'absence de parallaxe mesurable, attestant sans ambiguïté leur appartenance au ciel stellaire et non à l'atmosphère terrestre ou sublunaire.

Leur éclat rivalise parfois avec celui des planètes, avant de décroître lentement jusqu'à disparaître. Ces phénomènes imposent l'idée que le firmament peut connaître des transformations soudaines et irréversibles, indépendantes de tout mouvement orbital régulier. Ils portent ainsi un coup définitif à l'immutabilité aristotélicienne des cieux, déjà fragilisée, et ouvrent la voie à une conception du ciel comme domaine de processus physiques réels, capables de naître, d'évoluer et de s'éteindre.

[28] Pluriel de nova, que l'on trouve aussi sous la forme novas en français moderne.

Même si leur nature reste longtemps mystérieuse, les étoiles nouvelles inscrivent le changement et l'événementiel au cœur même du ciel sidéral.

Figure 13 Les comètes, aux trajectoire si mystérieusement irrégulières, ont longtemps été, pour les hommes, sources de présages, bénéfiques ou maléfiques.

Les objets cométaires

Les objets cométaires occupent une position marginale, mais persistante, dans la description du ciel, précisément parce qu'ils échappent aux catégories ordinaires du ciel étoilé. Dotés d'une chevelure diffuse et parfois d'une longue queue lumineuse, ils traversent le firmament sur des trajectoires visiblement non circulaires, changeantes, souvent spectaculaires, contrastant fortement avec la régularité apparente des étoiles et des planètes.

À l'époque moderne, leur appartenance au ciel lointain est désormais reconnue : ils ne relèvent plus des phénomènes atmosphériques ou sublunaires, mais du domaine astronomique

proprement dit. Toutefois, leur comportement erratique, leur apparition soudaine et leur disparition tout aussi imprévisible les maintiennent conceptuellement à part du « ciel étoilé » *stricto sensu*. Ils ne participent ni à la géométrie stable des constellations ni à l'architecture permanente de la Voie lactée.

Les comètes introduisent ainsi une dimension transitoire et intrusive dans le ciel, comme des visiteurs exceptionnels venant perturber l'ordre sidéral sans en modifier la structure globale. Elles rappellent que l'univers visible ne se réduit pas à un décor fixe, mais qu'il peut être traversé par des objets mobiles, éphémères, dont la présence, bien que reconnue comme céleste, reste longtemps périphérique dans la représentation de l'univers lactique.

Les zones sombres de la Voie lactée

Les zones sombres de la Voie lactée constituent un élément paradoxal du ciel sidéral, d'autant plus frappant qu'elles se manifestent au cœur même de la région la plus riche en étoiles. À l'œil nu comme à la lunette, elles apparaissent comme des lacunes irrégulières, des creux, parfois de véritables fissures tranchant dans la bande lumineuse, donnant l'impression d'absences stellaires locales.

Longtemps décrites de manière purement empirique, ces zones sont interprétées tantôt comme des régions réellement vides, tantôt comme des discontinuités dans la distribution des étoiles, voire comme des fractures du firmament lui-même.

Leur netteté relative, contrastant avec la profusion environnante, renforce l'idée d'une structure complexe et non homogène du ciel lactique. Faute de cadre théorique adéquat, l'hypothèse d'un écran absorbant ou d'un milieu obscur interposé n'est pas encore formulée de manière convaincante. Ces obscurités demeurent ainsi des anomalies descriptives, bien connues des observateurs, mais conceptuellement muettes.

Elles contribuent néanmoins à fissurer l'image d'une Voie lactée simplement constituée par un empilement d'étoiles, suggérant l'existence de processus ou de structures invisibles, dont la réalité ne sera pleinement comprise qu'au tournant du 20^{e} siècle.

L'anisotropie stellaire

La distribution des étoiles telle qu'elle se révèle par l'observation systématique du ciel montre très tôt une anisotropie marquée. Les étoiles ne sont pas réparties de manière homogène sur la sphère céleste : leur densité augmente nettement le long de la Voie lactée et décroît progressivement à mesure que l'on s'en éloigne, jusqu'aux régions polaires où le ciel paraît plus pauvre et plus clairsemé.

Cette dissymétrie est perçue empiriquement bien avant toute modélisation quantitative et constitue un indice majeur de structure. Elle suggère que le système stellaire n'est ni sphérique ni isotrope, mais présente une forme aplatie, comparable à une lentille ou à un disque. Toutefois, cette géométrie demeure purement descriptive : aucune échelle fiable ne peut lui être attribuée, ni en diamètre, ni en épaisseur.

L'absence de parallaxes stellaires mesurables empêche toute cartographie en profondeur, et la concentration apparente des étoiles est interprétée comme un effet de perspective autant que comme une réalité spatiale. Cette anisotropie alimente ainsi les premières tentatives de modélisation de la Voie lactée comme un système structuré, orienté, mais encore clos sur lui-même. Elle renforce l'idée d'un univers organisé autour d'un plan privilégié, sans pour autant permettre d'en localiser le centre ni d'en délimiter les frontières réelles.

Système stellaire sans bord

L'un des traits les plus déconcertants du ciel lactique réside dans l'absence de tout bord observable du système stellaire. Malgré les tentatives méthodiques de cartographie menées à partir du 18e siècle, notamment par William Herschel, aucune limite nette ne se laisse discerner dans la distribution des étoiles. Les comptages stellaires suggèrent bien une décroissance progressive de la densité dans certaines directions, mais jamais un arrêt franc, jamais une frontière identifiable entre le système et un extérieur vide.

Cette impossibilité à détecter un bord conduit à des modèles prudents, dans lesquels la Voie lactée est pensée comme un ensemble fini, de forme aplatie, mais plongé dans un espace obscur, indéterminé, sans structure visible. Le noir du ciel au-delà des étoiles ne peut être interprété ni comme une limite réelle ni comme une

simple absence d'observation. Il devient un arrière-plan conceptuel, un dehors silencieux, postulé plus que décrit.

Cette situation entretient une tension permanente entre finitude et indéfinition : le système stellaire est supposé borné, mais ses bornes échappent à toute observation directe. L'univers lactique apparaît ainsi comme un monde clos par défaut, non parce qu'il montre ses limites, mais parce qu'aucune extériorité positive ne se manifeste encore au regard.

Le ciel noir

Le ciel sidéral se présente enfin comme un espace majoritairement sombre et silencieux, où les étoiles, aussi nombreuses soient-elles le long de la Voie lactée, demeurent séparées par de vastes étendues de noirceur. Entre les points lumineux, aucun fond continu ne se manifeste, aucune lueur diffuse homogène ne vient combler l'intervalle : le ciel apparaît comme un tissu ajouré, fait de vides profonds ponctués d'éclats isolés.

Cette noirceur persistante, malgré l'abondance apparente des étoiles, renforce l'idée d'un espace immense et faiblement peuplé, où la matière lumineuse demeure localisée plutôt que répartie uniformément. Elle conforte aussi l'intuition d'un cosmos essentiellement vide, dans lequel la Voie lactée constitue une exception dense plutôt qu'une norme.

Ce contraste entre accumulation locale et silence global contribue à une représentation du monde où l'immensité l'emporte sur la plénitude, et où le ciel nocturne, loin d'être saturé de lumière, demeure dominé par l'absence, condition même de la visibilité des étoiles.

EN CONCLUSION

Ce corpus descriptif constitue précisément l'univers sidéral ou Voie lactée pré-1920 : un système stellaire riche, structuré, mais encore fermé sur lui-même, où l'essentiel du ciel observable est interprété comme appartenant à un même ensemble, sans seuil clairement identifiable entre l'interne et l'externe.

Au-delà du paradoxe newtonien, souvent invoqué *a posteriori*, et qui suppose l'infini, il faut rappeler que l'univers effectivement conçu entre la Renaissance et 1920 n'est pas un univers infini au

sens physique, mais un univers doté de dimensions, même si celles-ci demeurent incertaines. L'espace stellaire est pensé comme immense, certes, mais mesurable en principe, structuré par la distribution des étoiles et par la Voie lactée elle-même.

L'infini, lorsqu'il est évoqué, relève moins d'une étendue réelle que d'une limite conceptuelle : une sorte d'horizon ultime, parfois assimilé à une « sphère » englobante, au-delà de laquelle il n'y a plus rien à décrire ni à observer. Même chez Isaac Newton, l'espace infini est avant tout un cadre mathématique et métaphysique, non un objet astronomique cartographié.

Le ciel observé, lui, demeure fini par ses contenus, par leur raréfaction progressive et par l'absence de toute extériorité positive détectable. L'univers pré-1920 enveloppe la Terre comme un système stellaire clos par défaut, non par dogme, mais par épuisement descriptif. Il s'agit donc désormais de préciser cet univers tel qu'il est réellement pensé : sa forme supposée (sphérique, lenticulaire ou discoïde) et surtout son ordre de grandeur, exprimé en distances finies, en kilomètres ou en années-lumière, avant que l'extériorisation des nébuleuses ne vienne faire éclater ce cadre.

De la Renaissance au 18e siècle, l'univers stellaire est conçu comme très vaste, mais encore relativement compact à nos yeux modernes. Les étoiles étant supposées comparables au Soleil, leur faible éclat implique des distances immenses, mais sans outil de parallaxe mesurable, ces distances restent spéculatives. On raisonne alors par bornes inférieures : si aucune parallaxe n'est détectable, les étoiles doivent être à des milliers, puis à des dizaines de milliers de fois la distance Terre–Soleil. On parle volontiers de 1 000 à 10 000 milliards de kilomètres pour les étoiles les plus proches, ce qui place déjà l'univers bien au-delà du système planétaire, mais encore dans un ordre de grandeur fini et intelligible. Même si ces chiffres sont aujourd'hui largement sous-estimés, ils sont cohérents avec l'idée d'un univers stellaire clos, ayant une taille définie et une géométrie déterminée.

Au 19e siècle, l'amélioration des instruments et l'apparition des premières parallaxes stellaires [29] étendent considérablement l'échelle. Les étoiles proches se situent désormais à quelques années-lumière, et les plus lointaines visibles sont repoussées à plusieurs

[29] Bessel, 1838.

milliers, voire quelques dizaines de milliers d'années-lumière. La Voie lactée est alors conçue comme un disque stellaire de l'ordre de 30 000 à 60 000 années-lumière de diamètre, soit environ 300 000 à 600 000 milliards de milliards de kilomètres, entouré d'un espace obscur sans structure identifiable.

Dans ce cadre, l'infini n'est pas un espace rempli d'étoiles à perte de vue, mais une limite abstraite, un au-delà conceptuel du système stellaire. L'univers réel est celui qui contient des objets observables et cartographiables. Au-delà, il n'y a qu'un noir indéterminé, parfois pensé comme une enveloppe ultime, parfois comme un simple silence cosmique. Ainsi, jusqu'en 1920, l'univers est bien pensé comme ayant une forme et une taille finies, même si ses frontières exactes restent floues. L'infini n'est pas l'univers : il en est l'horizon métaphysique.

Ainsi se clôt l'univers Voie lactée tel qu'il est pensé avant 1920 : un cosmos immense mais fini, structuré, hiérarchisé, dont toutes les manifestations visibles, étoiles, nébuleuses, amas, sont supposées appartenir à un même système englobant. Les incertitudes portent sur la forme exacte, sur l'échelle réelle, sur la position du Soleil, mais non sur l'unicité de l'univers stellaire. Pourtant, cette cohérence descriptive est déjà traversée de tensions : dissymétries du ciel, objets ambiguës, nébuleuses spirales indécidables, amas périphériques, obscurités inexpliquées. Rien ne rompt encore le cadre, mais tout le fragilise. C'est précisément dans cet entre-deux (un univers clos par défaut, mais conceptuellement fissuré) que va s'ouvrir le « Grand Débat » : non sur l'infini abstrait, mais sur la question décisive de savoir si l'univers visible se limite réellement à la Voie lactée, ou si celle-ci n'est qu'un système parmi d'autres, perdu dans une immensité soudain démultipliée.

2. L'univers de Hubble

Nous avions laissé, à la fin du 19e siècle, un univers encore largement indécis dans ses contours, peuplé d'étoiles et de nébuleuses mal comprises, où la Voie lactée tendait à être assimilée à la totalité du cosmos, et où l'hypothèse d'autres mondes-galaxies demeurait spéculative, faute de distances fiables et d'un cadre observationnel capable de trancher.

Le Grand Débat[30] se tient le 26 avril 1920 à Washington, au sein de la *National Academy of Sciences*, dans un contexte où la cosmologie observationnelle est encore dominée par l'astronomie stellaire et par des incertitudes instrumentales majeures. Il oppose principalement Harlow Shapley et Heber Curtis autour de deux questions liées, mais distinctes : la taille réelle de l'Univers et la nature des « nébuleuses spirales ».

Shapley, s'appuyant sur l'étalonnage des céphéides[31] dans les amas globulaires, défend l'idée d'une Voie lactée immense, englobant l'ensemble de l'Univers connu, et relègue les nébuleuses spirales au rang d'objets internes ou périphériques à notre galaxie. Curtis, au contraire, soutient que la Voie lactée est de taille plus modeste et que les nébuleuses spirales sont des « univers-îles », des galaxies indépendantes situées bien au-delà de la nôtre, argumentant notamment à partir des novæ observées dans Andromède et des vitesses radiales élevées mesurées par spectroscopie.

---

[30] Qui rappelle très certainement aux Français un autre « Grand Débat », suscité par un certain « Jupiter » (le pseudo est aussi de lui), pour rester dans le… cosmique.

[31] Les céphéides sont des étoiles variables pulsantes, dont la luminosité intrinsèque est reliée de façon simple et monotone à leur période de variation. Une relation mise en évidence au début du 20e siècle par Henrietta Swan Leavitt, à partir de l'étude des nuages de Magellan. Cette relation période-luminosité permet, une fois la période mesurée, de déduire la magnitude absolue de l'étoile et donc sa distance par comparaison avec sa magnitude apparente. Les céphéides constituent ainsi l'un des premiers échelons fiables de l'échelle des distances cosmologiques et jouent un rôle central dans l'extension de l'Univers observable, au-delà de la Voie lactée, au tournant des années 1920.

Figure 14 Le télescope Hooker qui permit à Edwin Hubble de comprendre les nébuleuses comme galaxies et de les éloigner considérablement de la Voie lactée.

Le débat ne débouche pas sur un vainqueur immédiat : chacun a raison sur certains points et tort sur d'autres, révélant surtout l'état transitoire des savoirs et les limites méthodologiques de l'époque. Historiquement, le Grand Débat cristallise le basculement d'un univers galacto-centrique vers un univers extragalactique, basculement qui sera tranché empiriquement, quelques années plus tard, par les observations décisives d'Edwin Hubble, lorsqu'il établira sans ambiguïté la nature externe des nébuleuses spirales et ouvrira la voie à l'Univers des galaxies, préalable conceptuel à l'expansion cosmique des années 1920-1930.

L'avènement du télescope Hooker

Au début des années 1920, l'astronomie sort à peine du Grand Débat et demeure dans une situation conceptuellement instable : l'Univers observable est encore pensé, par une partie significative de la communauté scientifique, comme essentiellement galactique, centré sur une Voie lactée dont on vient seulement d'admettre l'extension considérable.

Les nébuleuses spirales constituent l'objet le plus problématique : tantôt interprétées comme des systèmes stellaires autonomes, tantôt comme des structures internes, voire des phénomènes secondaires de notre galaxie, leur statut reste ambigu faute de distances fiables. Les outils observationnels, toutefois, viennent d'atteindre un seuil critique avec la mise en service du télescope Hooker du mont Wilson, de 2,5 mètres de diamètre. Achevé en 1917, il fut le plus grand télescope du monde pendant plus de trente ans et joua un rôle majeur dans le développement de l'astrophysique moderne. Un instrument qui a permis, pour la première fois, de résoudre des étoiles individuelles dans certaines nébuleuses proches.

Dans ce contexte, les céphéides apparaissent comme une clé métrique décisive : la relation période-luminosité, déjà établie, mais encore mal étalonnée, offre un moyen direct de sortir de la simple hiérarchie apparente des objets célestes pour accéder à une véritable géométrie cosmique. L'héritage du Grand Débat est donc moins un ensemble de réponses qu'un déplacement du problème : l'enjeu n'est plus seulement de discuter la nature des objets, mais de mesurer l'Univers, en transformant des taches floues et des spectres en distances, en tailles et en structures comparables. C'est dans cet

entre-deux, où les instruments devancent encore les cadres théoriques stabilisés, que s'ouvre l'Univers de Hubble.

Une rupture observationnelle décisive

Entre 1923 et 1925 se produit la rupture observationnelle décisive qui met fin, de fait, au cadre hérité du 19e siècle. En exploitant la résolution exceptionnelle du télescope Hooker, Edwin Hubble identifie des céphéides individuelles au sein de la nébuleuse d'Andromède (M31), puis dans la galaxie du Triangle (M33).

L'application directe de la relation période-luminosité, conduit à des distances sans commune mesure avec les dimensions admises de la Voie lactée, plaçant ces objets très largement hors de notre galaxie. Cette mesure ne repose plus sur une argumentation indirecte ou statistique, mais sur une détermination métrique claire, répétable et indépendante des modèles dynamiques.

Le statut des nébuleuses spirales bascule alors définitivement : elles ne sont plus des structures internes ou marginales, mais des systèmes stellaires autonomes, comparables à la Voie lactée elle-même. Avec cette démonstration, le modèle d'un Univers limité à notre galaxie s'effondre empiriquement, non par débat théorique, mais par excès de distance mesurée. L'Univers cesse d'être un espace centré sur une unique structure privilégiée et devient un ensemble peuplé de galaxies multiples, ouvrant un changement d'échelle et conceptuel radical, préalable indispensable à toute cosmologie moderne.

Avant 1923, les céphéides connues et utilisables comme étalons de distance étaient toutes internes à la Voie lactée ou, au mieux, associées aux Nuages de Magellan, dont l'appartenance au voisinage immédiat de la Voie lactée ne posait pas de problème conceptuel. Elles servaient donc à cartographier la structure interne de notre galaxie et à en estimer la taille, notamment dans les travaux de Shapley.

Avec Hubble, pour la première fois, des céphéides sont résolues individuellement au sein de nébuleuses spirales lointaines comme M31 et M33, c'est-à-dire dans des systèmes stellaires distincts de la Voie lactée. Le même outil métrique, jusque-là confiné à l'Univers galactique, est soudain projeté à une échelle extragalactique, sans changement de méthode, seulement par gain de résolution. C'est

précisément cette continuité instrumentale et méthodologique qui rend la démonstration si robuste : les céphéides ne changent pas de nature, mais l'Univers, lui, change brutalement d'échelle.

De multiples galaxies

La confirmation du caractère extragalactique des nébuleuses spirales entraîne immédiatement une reconfiguration complète de l'Univers observable. La Voie lactée cesse d'être le contenant du cosmos et devient un objet parmi d'autres au sein d'une population désormais reconnue de galaxies externes, distribuées dans un espace dont l'extension dépasse de très loin les estimations antérieures.

Les premières distances extragalactiques obtenues à partir des céphéides, bien qu'encore entachées d'erreurs systématiques, suffisent à établir un changement d'échelle massif : l'Univers accessible à l'observation est soudain dilaté d'un facteur compris entre 10 et 100 par rapport aux modèles du début du 20e siècle. Ce saut n'est pas seulement quantitatif, il est structurel : l'espace cosmique acquiert une profondeur, une hiérarchie et une granularité nouvelles, faites de systèmes stellaires comparables, séparés par des vides immenses.

L'astronomie passe ainsi d'une cartographie interne de la Voie lactée à une topologie de l'espace extragalactique, où distances, tailles et luminosités deviennent des grandeurs comparables entre objets de même nature. Même si les valeurs absolues seront plus tard révisées, notamment à la baisse pour ce qui concerne les distances de Hubble, le principe est définitivement acquis : l'Univers n'est plus une île stellaire unique, mais un ensemble de galaxies multiples, dispersées dans un espace bien plus vaste que tout ce que le 19e siècle avait pu raisonnablement concevoir.

Les classifications morphologiques

Une fois admise l'existence d'une population de galaxies externes, se pose la nécessité de les décrire, de les comparer et de les ordonner selon des critères visibles, indépendamment de toute interprétation causale.

Dans les années 1920, Edwin Hubble met progressivement en place une classification morphologique fondée sur l'apparence des galaxies, distinguant d'abord les formes elliptiques et spirales, puis

introduisant la catégorie des spirales barrées. Cette typologie, qui se veut explicitement descriptive, repose exclusivement sur des critères observationnels simples : degré de concentration, présence ou non de bras, symétrie globale.

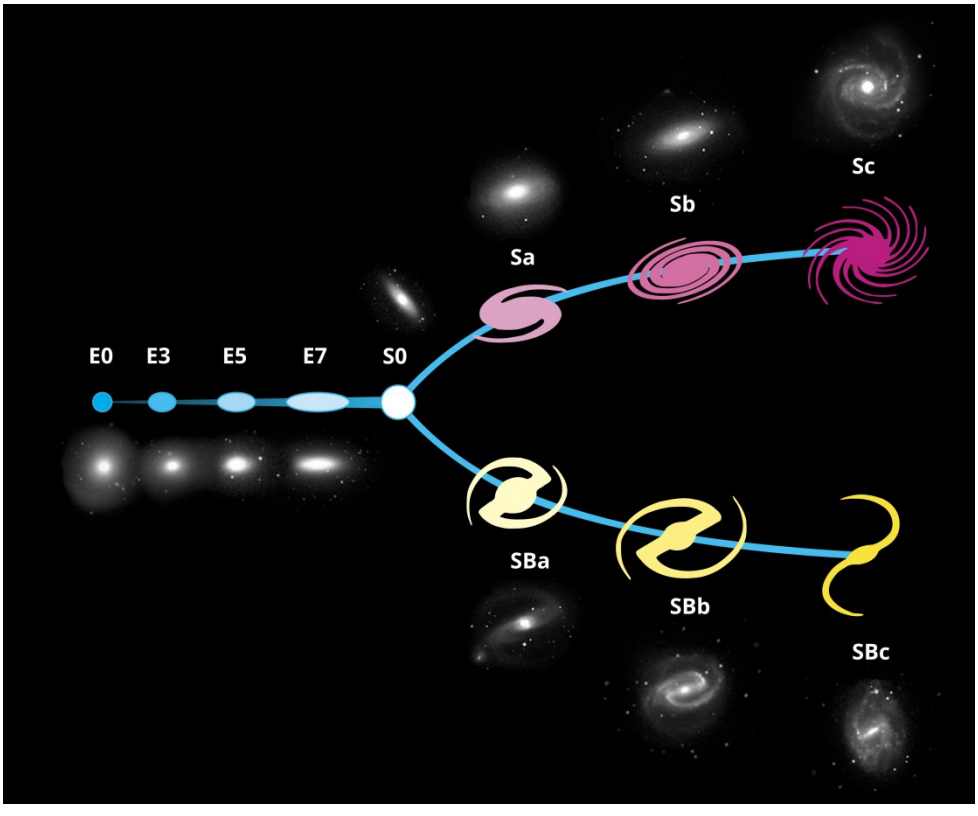

Figure 15 Les différents types de galaxies, selon la séquence de Hubble : le type E correspond à une galaxie elliptique, le S à une galaxie spirale et le SB à une galaxie spirale barrée.

À ce stade, il ne s'agit ni d'une séquence évolutive, ni d'un modèle dynamique du devenir des galaxies, mais d'un langage commun permettant de comparer des objets nouvellement reconnus comme de même nature. La « séquence de Hubble », une organisation morphologique, en deux branches, de la diversité galactique observable.

Il en sera de même du « diagramme de de Vaucouleurs », qui est une extension explicite et assumée de la séquence de Hubble, proposée dans les années 1950 par Gérard de Vaucouleurs. Ce diagramme introduit une organisation selon trois branches des

morphologies galactiques, intégrant simultanément le type (elliptique, lenticulaire, spiral), la présence ou non d'une barre, et le degré d'ouverture des bras spiraux. La structure du diagramme rend beaucoup plus explicite l'idée d'un espace continu des formes, où les transitions sont graduelles plutôt que discrètes.

Qu'il s'agisse de la séquence de Hubble ou du diagramme de de Vaucouleurs, il s'agit de classifications morphologiques fondées sur l'apparence des galaxies et non de schémas évolutifs au sens strict. Ces dispositifs ont pour fonction première d'ordonner la diversité des formes galactiques observées à partir de critères descriptifs (structure globale, présence d'une barre, degré d'ouverture des bras spiraux) sans postuler de trajectoire temporelle ni de flèche de transformation obligatoire. Si leur organisation suggère implicitement des continuités ou des transitions possibles entre types, cette lecture dynamique relève d'interprétations ultérieures et non de l'intention méthodologique initiale, qui demeure classificatoire et non morphogénétique.

Une cinématique globale de l'univers

Entre 1927 et 1929 s'opère un second basculement majeur, cette fois non plus sur la structure de l'Univers, mais sur son comportement global. Hubble met en relation les distances extragalactiques, qu'il a déterminées, avec les vitesses radiales des nébuleuses spirales, vitesses obtenues en grande partie grâce aux mesures spectroscopiques antérieures de Vesto Slipher, qui avait dès les années 1910, constaté des décalages spectraux très élevés.

La nouveauté ne réside donc pas dans la mesure des vitesses elles-mêmes, mais dans leur corrélation systématique avec la distance. En compilant ces données, Edwin Hubble met en évidence une relation approximativement linéaire : plus une galaxie est éloignée, plus sa vitesse apparente de fuite est grande. Le résultat est d'abord empirique, statistique, et présenté avec prudence, sans cadre théorique pleinement assumé.

Hubble parle de vitesses apparentes et se garde d'une interprétation cosmologique forte, laissant ouverte la question de leur signification physique. La relativité générale, bien que déjà appliquée à la cosmologie par Friedmann et Lemaître, n'est pas

encore intégrée comme cadre interprétatif dominant dans ce travail observationnel.

Ce moment est crucial : la loi distance-décalage spectral[32] est établie comme fait, indépendamment de son explication, et l'Univers cesse d'être seulement structuré spatialement pour devenir un système où l'éloignement s'accompagne d'un comportement cinématique global.

Prudence dans l'espace

Chez Hubble, la portée cosmologique de la relation distance-décalage spectral est abordée avec une prudence remarquable, qui contraste avec les lectures ultérieures. Il distingue soigneusement le fait observationnel (l'existence d'une corrélation entre distance et décalage spectral) et son interprétation théorique, qu'il refuse dans un premier temps de figer.

Dans ses publications de la fin des années 1920, il privilégie le vocabulaire de « vitesses apparentes », évitant d'affirmer explicitement une expansion réelle de l'espace. Cette réserve tient autant à des raisons méthodologiques qu'à une méfiance envers les modèles cosmologiques encore instables et dépendants de la relativité générale, dont l'usage reste alors marginal chez de nombreux astronomes observationnels.

Hubble est conscient des incertitudes affectant ses distances, des biais de sélection et de la dispersion des données, et il se garde d'extrapoler au-delà de ce que les observations autorisent strictement. Ce n'est donc pas l'idée d'expansion qu'il réfute, mais sa prématurité conceptuelle. Paradoxalement, cette retenue renforce la solidité de son apport : en séparant rigoureusement mesure et interprétation, Hubble ancre la cosmologie moderne dans un socle empirique indépendant des cadres théoriques appelés à évoluer.

[32] Décalage spectral désigne le fait que le spectre lumineux d'une galaxie, c'est-à-dire la décomposition de sa lumière en couleurs, est décalé vers le rouge. Ce décalage indique que l'espace entre la galaxie et nous s'est dilaté pendant le trajet de la lumière. Il donne l'apparence d'un éloignement rapide de la galaxie, alors que ce n'est pas l'objet lui-même qui fuit, mais l'espace qu'il traverse qui s'étire.

La loi de Hubble-Lemaître

La même relation observationnelle, de la relation distance-décalage spectral des galaxies, reçoit aussi une interprétation théorique cohérente, dans le cadre de la relativité générale, dans un premier temps grâce aux travaux de Friedmann (1922-24). C'est un physicien et mathématicien, pionnier de la cosmologie moderne, qui a formulé les premières solutions dynamiques des équations de la relativité générale d'Einstein, ouvrant la voie à la théorie de l'expansion de l'univers.

Mais c'est à partir des études de Lemaître (1927), que la loi de relation distance-décalage prend rétrospectivement un statut cosmologique fort. Autrement dit, la loi est observée chez Hubble avant d'être comprise comme loi d'expansion chez Lemaître.

Hubble établit la relation, Lemaître en donne le sens cosmologique, ce qui va établir la formulation d'une loi de « Hubble-Lemaître », l'Univers de Hubble cessant d'être seulement mesuré, pour devenir interprété.

Théorie et observations se rejoignent

Vers 1930, le paysage cosmologique est profondément transformé, au point qu'il devient légitime de parler d'un changement de régime scientifique. En moins d'une décennie, l'Univers galactique hérité du 19^{e} siècle a laissé place à un univers de galaxies multiples, distribuées dans un espace dont l'extension et la structure sont désormais accessibles à la mesure.

La cosmologie cesse d'être un prolongement spéculatif de l'astronomie stellaire, pour devenir une science observationnelle quantitative, fondée sur des distances, des vitesses et des corrélations empiriques. L'échelle des distances cosmiques est posée dans ses principes, même si ses valeurs numériques restent encore approximatives, et fournit un cadre commun reliant objets proches et lointains dans une même géométrie mesurable.

Des distances extragalactiques corrigées

En marge immédiate de la décennie 1920-1930, et sans en altérer le basculement conceptuel, s'engagent des révisions et des approfondissements qui vont progressivement affiner le nouvel univers mis au jour.

Les distances extragalactiques établies par Edwin Hubble se révèlent entachées d'erreurs systématiques, en particulier liées à la confusion entre différents types de céphéides et à la sous-estimation des effets d'extinction, ce qui conduit à des révisions substantielles de l'échelle cosmique dans les années 1930-1940.

Ces corrections auront pour effet de réduire la valeur de la constante de Hubble[33], sans remettre en cause la réalité de la relation distance-décalage spectral. Parallèlement, la classification morphologique des galaxies est enrichie et précisée, notamment par des astronomes comme Walter Baade et plus tard Gérard de Vaucouleurs, qui affinent les types, introduisent des transitions continues et élargissent le cadre descriptif initial.

Ces développements postérieurs relèvent d'un travail de consolidation plutôt que de refondation : ils corrigent les chiffres, densifient les catégories et stabilisent les outils, mais ne reviennent jamais sur l'acquis fondamental des années 1923-1929. Le passage d'un univers galactique à un univers de galaxies, et l'entrée de la cosmologie dans une ère métrique et observationnelle, demeurent définitivement établis.

EN CONCLUSION

Au terme de cette décennie décisive, l'Univers a changé de nature autant que d'échelle. On observe une transition nette, d'un cosmos encore assimilé, au tournant du 19e et du 20e siècle, à un système sidéral dominé par la Voie lactée, à un univers peuplé de galaxies multiples, mesurables, comparables, et reliées par des relations cinématiques globales.

L'apport d'Edwin Hubble n'est pas tant d'avoir « découvert » l'expansion au sens théorique, mais d'avoir transformé un ciel d'objets ambigus, en un espace structuré, métrique et quantifiable, où distances et vitesses peuvent être corrélées indépendamment de toute cosmologie préalable.

[33] La constante de Hubble mesure la vitesse à laquelle l'Univers se dilate : plus une galaxie est lointaine, plus elle semble s'éloigner rapidement. Mise en évidence à la fin des années 1920 par Edwin Hubble, cette constante sert d'échelle pour estimer les distances cosmiques et l'âge global de l'Univers. Sa valeur exacte fait encore débat, ce qui montre que notre compréhension de l'expansion cosmique reste incomplète.

L'univers sidéral, tel qu'on pouvait encore le concevoir vers 1900, correspond à une Voie lactée d'un diamètre de l'ordre de 100 000 années-lumière, soit environ 950 millions de milliards de kilomètres, déjà vertigineux à l'échelle humaine, mais encore fini et centré.

L'univers des galaxies, tel qu'il émerge entre 1923 et 1929, projette immédiatement l'observation à des distances de plusieurs millions d'années-lumière pour les galaxies les plus proches, soit des ordres de grandeur compris entre 10 et 100 milliards de milliards de kilomètres de diamètre, et ouvre, par la relation distance-décalage spectral, un horizon cosmique dont l'extension est de 10 à 100 fois plus grande que le modèle sidéral « Voie lactée » précédent.

Et ce n'est pas seulement la taille qui explose, mais la forme même de l'Univers, car l'on passe d'un système stellaire structuré autour d'un centre, à un espace sans centre privilégié, peuplé de galaxies en fuite apparente les unes par rapport aux autres. En une décennie, l'astronomie cesse de mesurer un monde et commence à mesurer l'Univers.

3. L'univers en construction

De Galilée à Hubble

Le développement des instruments optiques, de la lunette de Galilée au télescope Hooker utilisé par Edwin Hubble, correspond à un élargissement progressif du ciel accessible, autant par la puissance de collecte de lumière que par la précision de mesure. La lunette de Galilée, au début du 17e siècle, était un instrument rudimentaire, à faible grossissement et à champ étroit, composé d'une lentille convergente pour l'objectif et d'une lentille divergente pour l'oculaire. Elle permet néanmoins une rupture décisive : montagnes lunaires, phases de Vénus, satellites de Jupiter, multiplicité stellaire. Le ciel cesse d'être un décor parfait et devient un espace structuré, bien que l'instrument reste limité par de fortes aberrations optiques et une ouverture très réduite.

Au cours du 17e siècle, les lunettes s'allongent considérablement afin de réduire les aberrations chromatiques. Des astronomes comme Christiaan Huygens développent des oculaires plus performants et atteignent des focales extravagantes, parfois plusieurs dizaines de mètres, au prix d'une maniabilité quasi nulle. Cette phase marque une amélioration de la résolution angulaire, mais aussi les limites intrinsèques des instruments à lentilles. Le passage au télescope à miroir, initié par Isaac Newton, constitue alors une bifurcation technique majeure : l'aberration chromatique disparaît, et l'augmentation du diamètre devient plus réaliste.

Du 18e au 19e siècle, les télescopes réflecteurs gagnent en taille et en qualité optique. William Herschel construit des instruments géants pour son époque, révélant la structure de la Voie lactée et la richesse des nébuleuses. Parallèlement, les progrès du polissage, de l'argenture des miroirs et de la monture équatoriale transforment le télescope en un véritable instrument de cartographie céleste. L'astronomie cesse peu à peu d'être descriptive pour devenir statistique et systématique.

William Herschel a utilisé et construit plusieurs instruments majeurs, dont les diamètres reflètent bien la montée en puissance de l'astronomie optique à la fin du 18e siècle.

Figure 16 Galilée montrant au Doge de Venise sa lunette astronomique. En plein jour et lunette horizontale, on se demande ce que ces messieurs pouvaient bien observer…

Ses premiers télescopes étaient modestes, autour de 15 à 20 centimètres de diamètre, déjà suffisants pour des observations systématiques du ciel et la découverte d'Uranus en 1781. Il passe ensuite à des réflecteurs plus ambitieux, notamment un télescope d'environ 30 centimètres, puis un autre de 45 centimètres, qui lui permet d'explorer en détail les nébuleuses et les amas stellaires.

Son instrument le plus célèbre est le « grand télescope » de Slough, achevé en 1789, doté d'un miroir de 1,2 mètre de diamètre, avec une focale d'environ 12 mètres. À son époque, c'est de loin le plus grand télescope du monde. Bien que difficile à manœuvrer et limité par la qualité des miroirs en métal réfléchissant, il marque un seuil symbolique : pour la première fois, la collecte de lumière devient suffisamment importante pour suggérer que certaines nébuleuses pourraient être des systèmes stellaires lointains. Ce diamètre restera inégalé pendant plus d'un demi-siècle, jusqu'aux grands réflecteurs du 19^{e} siècle, et constitue un jalon direct sur la trajectoire qui mène, un siècle plus tard, au Hooker de 2,5 mètres. De la lunette de Galilée au Hooker, l'instrumentation optique a ainsi déplacé l'horizon de l'Univers, transformant un ciel proche et fini en un espace profond, peuplé d'innombrables mondes.

De Hubble à l'EELT

Depuis le télescope Hooker de 2,5 mètres du mont Wilson, l'évolution des instruments optiques terrestres suit une trajectoire nette : accroître le diamètre utile tout en compensant de mieux en mieux les limites imposées par l'atmosphère. Le Hooker, mis en service en 1917 à Observatoire du Mont Wilson, représente l'aboutissement de l'optique classique à miroir monolithique et argenté. Il combine, pour la première fois, grande ouverture, stabilité mécanique et instrumentation spectroscopique suffisamment précise pour transformer l'astronomie en science des distances et des vitesses, ouvrant la voie à la cosmologie observationnelle moderne.

Le saut suivant est franchi en 1948 avec le télescope Hale de 5 mètres à l'Observatoire du Mont Palomar. Il double pratiquement le diamètre du Hooker et inaugure une nouvelle ère technologique : miroirs en verre Pyrex à faible dilatation thermique, contrôle thermique de la coupole, montures plus rigides. Pendant plusieurs décennies, le Hale reste l'instrument optique dominant, permettant

l'étude détaillée des galaxies, des quasars et de la structure à grande échelle de l'Univers.

Figure 17 Vue interne du Télescope Géant Européen (EELT – *European Extremely Large Telescope*).

À partir des années 1970-1980, une rupture conceptuelle intervient avec l'abandon progressif du miroir monolithique au profit de solutions segmentées ou actives. Les télescopes de 3,5 à 4 mètres marquent une phase de transition, mais ce sont surtout les années 1990 qui consacrent le nouveau paradigme avec les télescopes Keck, à l'Observatoire du Mauna Kea. Chacun des deux instruments possède un miroir segmenté équivalent à 10 mètres de diamètre, dont les surfaces sont ajustées en permanence, les unes par rapport aux autres, par un système d'optique active. Cette architecture permet de dépasser les limites mécaniques et industrielles du miroir plein, tout en conservant une excellente qualité d'image.

Parallèlement, l'Europe développe une approche intégrée avec le *Very Large Telescope* à l'Observatoire du Cerro Paranal. Composé de quatre télescopes de 8,2 mètres, le VLT illustre une autre évolution majeure : la combinaison interférométrique d'instruments optiques

terrestres. Sans augmenter directement le diamètre collecteur individuel, cette approche permet d'atteindre des résolutions angulaires équivalentes à celles d'un télescope de plusieurs dizaines de mètres, au prix d'une complexité instrumentale considérable.

Depuis le début du 21e siècle, l'optique adaptative devient un élément central. En corrigeant en temps réel les turbulences atmosphériques à l'aide de miroirs déformables et d'étoiles guides artificielles[34], les télescopes terrestres atteignent, dans le visible et le proche infrarouge, des résolutions comparables à celles des instruments spatiaux. Cette avancée redéfinit le rôle de l'astronomie au sol, non plus limitée par l'atmosphère, mais par la maîtrise technologique de sa compensation.

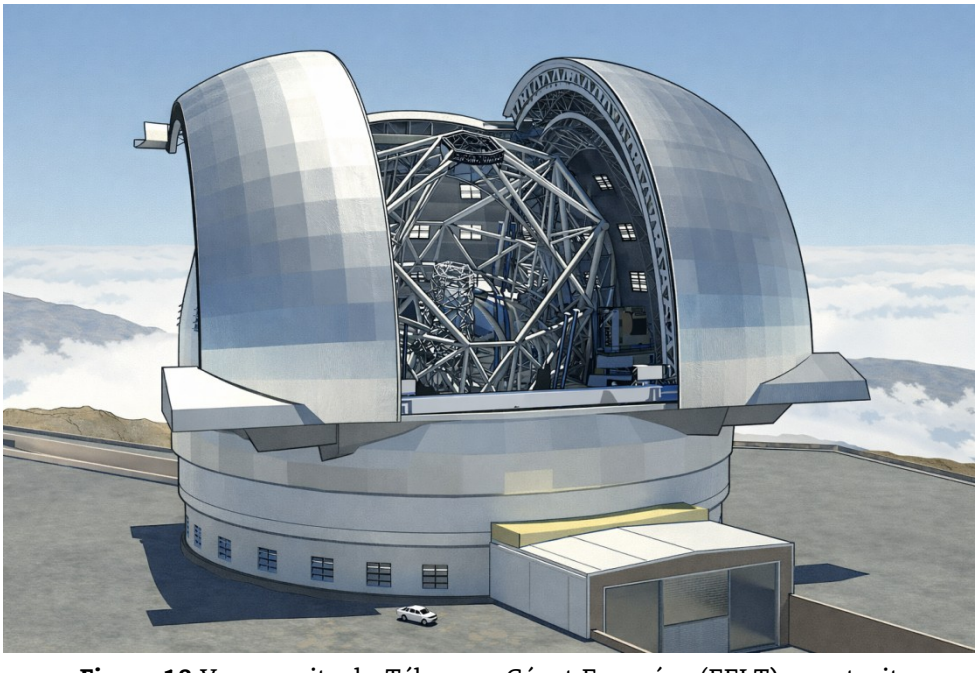

Figure 18 Vue sur site du Télescope Géant Européen (EELT), construit au Cerro Armazones.

[34] Pour corriger les turbulences atmosphériques, quand cela est possible (proximité avec le champ observé), une étoile guide naturelle (une vraie étoile) est utilisée. Lorsqu'il n'y a pas de véritable étoile à proximité du champ observé, une étoile guide artificielle est créée en haute atmosphère, par un ou plusieurs puissants rayons laser.

Aujourd'hui, cette trajectoire aboutit aux télescopes dits extrêmement grands, dont l'*European Extremely Large Telescope* de 39 mètres, en construction au Cerro Armazones, qui prolonge directement la lignée Hooker–Hale–Keck–VLT. L'optique terrestre n'a donc pas seulement grandi en taille : elle est devenue un système cybernétique complexe, où la lumière collectée est indissociable de sa correction, de sa stabilisation et de son traitement en temps réel.

Au-delà du visible

Au-delà de l'optique, l'astronomie terrestre explore aujourd'hui une large partie du spectre électromagnétique, dans les limites imposées par l'atmosphère. La plus ancienne et la plus développée de ces approches est la radioastronomie, qui observe les ondes radio et les micro-ondes émises par le ciel. Les radiotélescopes, qu'ils soient constitués d'antennes uniques de grand diamètre ou de réseaux interférométriques, permettent d'étudier le gaz interstellaire froid, les pulsars, les quasars, les noyaux actifs de galaxies et le rayonnement fossile du *Big Bang*. Des instruments, comme ceux regroupés au sein du *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*, ont ouvert l'accès aux longueurs d'onde millimétriques et submillimétriques, révélant la formation des étoiles et des systèmes planétaires avec une précision inédite.

Le domaine millimétrique et submillimétrique occupe une position intermédiaire cruciale entre les ondes radio et l'infrarouge. Il est exploité depuis le sol uniquement dans des sites extrêmes, très secs et en altitude, afin de limiter l'absorption atmosphérique. Ces longueurs d'onde sont essentielles pour l'étude des nuages moléculaires, de la poussière cosmique froide et des toutes premières phases[35] de la structuration cosmique. Elles complètent l'optique en donnant accès à un Univers largement invisible à l'œil humain, dominé par la matière diffuse et les processus thermiques lents.

L'infrarouge proche et moyen est également accessible depuis la Terre, mais de façon partielle. L'atmosphère n'y est transparente que dans certaines « fenêtres », et l'émission thermique du sol, des instruments et de l'air constitue un bruit de fond important. Malgré

[35] Lorsque l'Univers passe d'un état homogène, à un état plus hétérogène et hiérarchisé (effets de la gravitation, condensation de matière, puis apparition d'objets cosmiques lumineux).

ces contraintes, l'infrarouge terrestre est devenu fondamental pour l'étude des régions de formation stellaire, des galaxies lointaines très décalées vers le rouge et des atmosphères d'exoplanètes. Les grands télescopes optiques modernes sont d'ailleurs conçus dès l'origine comme des instruments optiques et infrarouges intégrés.

En revanche, d'autres domaines du spectre sont presque totalement inaccessibles depuis le sol. L'ultraviolet est largement absorbé par l'atmosphère, de même que les rayons X et les rayons gamma, ce qui impose le recours à des instruments spatiaux pour ces longueurs d'onde. Le terrestre y contribue toutefois indirectement, par des détecteurs de particules secondaires produits dans l'atmosphère ou par l'observation des effets indirects des rayonnements de haute énergie, notamment via les gerbes atmosphériques ou les émissions Tcherenkov[36].

Enfin, il faut mentionner que l'astronomie terrestre ne se limite plus strictement au spectre électromagnétique. Bien que sortant déjà de la logique optique classique, des instruments au sol détectent aujourd'hui des messagers non lumineux, comme les ondes gravitationnelles ou les neutrinos, qui ouvrent un autre rapport à l'Univers physique. Dans cette perspective élargie, l'astronomie terrestre apparaît moins comme une simple alternative au spatial que comme un ensemble cohérent de techniques complémentaires, chacune exploitant les fenêtres que la Terre laisse ouvertes sur le cosmos.

Au-delà de l'invisible

Les ondes gravitationnelles constituent une forme d'astronomie entièrement non électromagnétique. Il ne s'agit plus de capter de la lumière, mais des déformations infimes de l'espace-temps produites par des phénomènes extrêmes comme la fusion de trous noirs ou

[36] Les émissions Tcherenkov sont de brefs éclairs de lumière bleutée produits lorsqu'une particule chargée traverse un milieu (air ou eau) à une vitesse supérieure à celle de la lumière dans ce milieu. Dans l'atmosphère, ces flashes sont générés par les gerbes de particules créées par les rayons cosmiques ou les rayons gamma de très haute énergie. L'observation de ces flashes depuis le sol permet une détection indirecte de ces phénomènes énergétiques cosmiques. L'effet a été mis en évidence par Pavel Tcherenkov dans les années 1930.

d'étoiles à neutrons. Ces déformations sont mesurées au sol par des interféromètres géants, constitués de bras perpendiculaires de plusieurs kilomètres, dans lesquels on compare la phase[37] de deux faisceaux laser. Des instruments comme LIGO ou VIRGO détectent des variations de longueur bien inférieures à la taille d'un proton. Ce type d'observation ne donne pas une image de l'Univers, mais il en enregistre les vibrations, donnant un accès direct à la dynamique gravitationnelle forte, totalement invisible par les moyens optiques ou radio.

Les neutrinos ouvrent une autre fenêtre radicalement différente. Ces particules quasi sans masse, très faiblement interactives, traversent la matière ordinaire presque sans être déviées ni absorbées. Leur détection repose sur des volumes gigantesques de matière transparente, eau ou glace, instrumentés par des capteurs sensibles à la lumière Tcherenkov produite lorsqu'un neutrino interagit exceptionnellement avec un noyau atomique. Des observatoires comme IceCube, enfoui dans la glace antarctique, permettent de remonter à des sources astrophysiques extrêmement énergétiques, y compris des régions opaques à toute forme de rayonnement électromagnétique. Les neutrinos renseignent ainsi sur les processus nucléaires et hadroniques profonds, au cœur des supernovæ, des noyaux actifs de galaxies ou des environnements proches des trous noirs.

À côté de ces deux grands axes, d'autres techniques terrestres contemporaines existent, plus discrètes, mais conceptuellement importantes. La détection directe des rayons cosmiques de très haute énergie repose sur des réseaux de capteurs au sol, qui mesurent l'arrivée des gerbes de particules secondaires produites dans l'atmosphère. Certaines expériences cherchent également des signatures de matière noire par des détecteurs cryogéniques ultra-sensibles, installés sous terre pour se protéger du bruit cosmique. Ces dispositifs ne regardent pas le ciel au sens classique, mais tentent

[37] En en interférométrie comparer la phase de deux faisceaux laser permet de détecter des différences de trajet extrêmement petites : un décalage de phase traduit directement une variation de distance parcourue. Dans les interféromètres, cette propriété est exploitée pour mesurer des déplacements ou des déformations bien plus petits que la longueur d'onde de la lumière utilisée, ce qui rend possible la détection de phénomènes physiques infimes, comme les ondes gravitationnelles.

d'enregistrer le passage rarissime de particules hypothétiques liées à la structure invisible de l'Univers.

Ainsi, l'astronomie terrestre contemporaine ne se limite plus à observer ce qui rayonne. Elle capte ce qui vibre, ce qui traverse, ce qui percute et ce qui interagit à peine. Ces techniques, complémentaires des instruments optiques et radio, transforment l'Univers observable en un ensemble de signaux hétérogènes, où l'information cosmique ne passe plus uniquement par la lumière.

Figure 19 Le télescope spatial Hubble, premier à marquer profondément la science et l'imaginaire collectif, prolonge, près de 70 ans plus tard, le regard inauguré par Edwin Hubble sur l'immensité cosmique.

L'œil dans le ciel[38]

Les instruments spatiaux naissent d'une contrainte simple et radicale : l'atmosphère absorbe, brouille ou émet elle-même une grande partie du spectre électromagnétique. Mettre les détecteurs en orbite revient donc à enlever le plafond atmosphérique, récupérer l'Univers brut, sans filtre terrestre. Les premiers satellites

[38] « L'Œil dans le ciel » est un roman de science-fiction de Philip K. Dick (1976).

astronomiques, dès les années 1960, explorent ce que le sol ne peut pas voir : l'ultraviolet, les rayons X, les rayons gamma. Avec eux, l'Univers cesse d'être essentiellement stellaire et devient violent, instable, énergétique.

Dans l'ultraviolet, les instruments spatiaux révèlent les étoiles chaudes, le milieu interstellaire ionisé et les processus de formation stellaire récents, largement invisibles en optique. Mais ce sont surtout les rayons X et gamma qui bouleversent la vision du cosmos. Des observatoires comme *Chandra X-ray Observatory* ou *Fermi Gamma-ray Space Telescope* montrent un Univers dominé par les trous noirs, les pulsars, les supernovæ, les jets relativistes. Le ciel devient transitoire, explosif, traversé d'événements brefs, mais colossaux, totalement absents des cartes classiques.

L'infrarouge spatial constitue un autre basculement majeur. Libérés du rayonnement thermique terrestre, des instruments comme le *James Webb Space Telescope*, le *Spitzer Space Telescope* ou le *Herschel Space Observatory* explorent l'Univers froid et lointain. Ils sondent la naissance des étoiles dans les nuages de poussière, la formation des planètes, mais aussi les premières galaxies, dont la lumière est étirée vers l'infrarouge par l'expansion cosmique. Le spatial devient ici une machine à remonter le temps cosmique.

Un cas à part mérite d'être souligné : l'étude du fond diffus cosmologique. Avec des satellites dédiés comme COBE, WMAP et surtout Planck, l'astronomie spatiale devient cosmologie de précision. Il ne s'agit plus d'observer des objets, mais une structure globale, l'empreinte fossile de l'Univers primordial, émise environ 380 000 ans après le *Big Bang*. Ces missions mesurent des anisotropies [39] minuscules, à l'échelle de quelques dizaines de microkelvins, et fixent les paramètres fondamentaux du modèle cosmologique.

[39] En cosmologie, le terme « anisotropie » désigne de très faibles variations spatiales d'une grandeur supposée globalement uniforme. Dans le cas du fond diffus cosmologique, il s'agit de minuscules différences de température et de densité selon la direction d'observation, vestiges des fluctuations primordiales de l'Univers jeune. Ces anisotropies constituent la signature observée des germes à partir desquels se formeront ultérieurement les galaxies et les grandes structures cosmiques.

Autre révolution silencieuse : l'astrométrie spatiale. Des missions comme Gaia ne cherchent ni le spectaculaire ni l'exotique, mais la mesure systématique et ultra-précise des positions, distances et mouvements de plus d'un milliard d'étoiles. Le résultat n'est pas une image, mais une carte dynamique en six dimensions[40] de la Voie lactée. Le spatial devient ici un outil de géométrie galactique, transformant notre galaxie en objet mesurable dans sa globalité.

Enfin, il faut mentionner que le spatial ne se limite plus au photon. Des détecteurs embarqués observent aussi les particules énergétiques, les rayons cosmiques, et testent des instruments liés indirectement aux ondes gravitationnelles ou à la physique fondamentale. L'espace devient ainsi un laboratoire, autant qu'un observatoire.

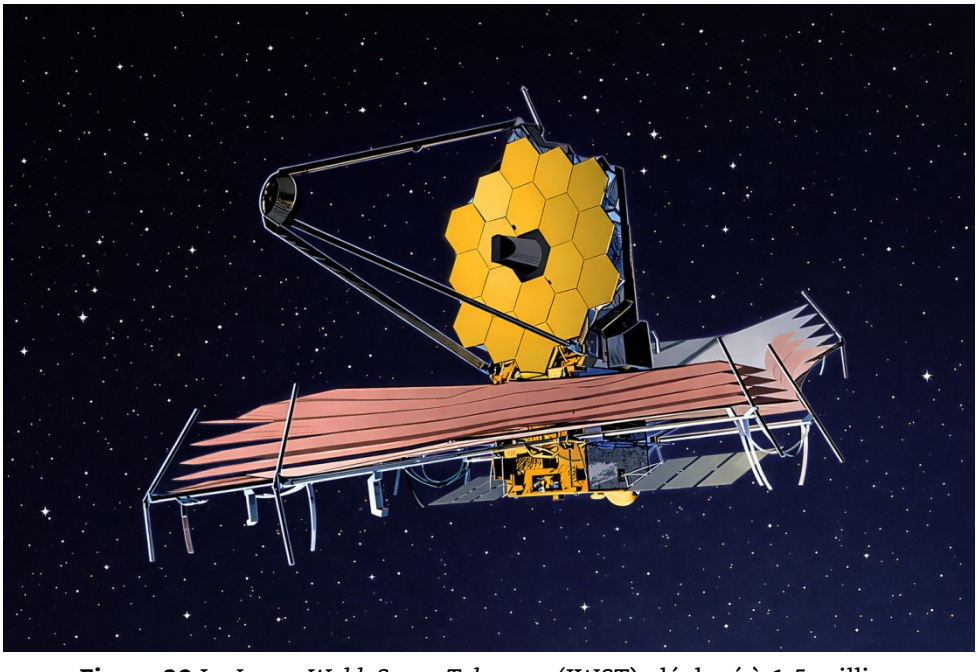

Figure 20 Le *James Webb Space Telescope* (JWST), déployé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, capte la lumière infrarouge des premières structures cosmiques et ouvre une fenêtre sur les débuts de l'Univers.

[40] Les « six dimensions » correspondent aux coordonnées de phase complètes d'une étoile : trois dimensions de position (dans l'espace) et trois dimensions de vitesse (composantes du mouvement), permettant de décrire à la fois sa localisation et sa dynamique dans la Voie lactée.

En résumé, l'astronomie spatiale ne prolonge pas simplement celle du sol : elle la disloque en états physiques distincts. À chaque bande du spectre, à chaque messager, correspond un Univers différent. Ce que le terrestre assemble par fragments, le spatial le déploie en mosaïque complète, parfois dérangeante, souvent spectaculaire, toujours conceptuellement déstabilisante.

4. Le nouveau ciel

À partir des années 1930, avec les travaux de Hubble, le ciel cesse définitivement d'être un simple inventaire d'astres pour devenir un espace physique dynamique, peuplé d'objets nouveaux, souvent invisibles à l'œil et parfois même à l'optique classique. Le 20e siècle ouvre un « nouveau ciel », non par accumulation progressive, mais par ruptures successives, chacune liée à un changement instrumental majeur : grands télescopes, radioastronomie, astronomie spatiale, détecteurs de particules, interférométrie, puis astronomie multi-messagers. À mesure que les fenêtres d'observation s'élargissent, la notion même d'objet astronomique se transforme : on ne découvre pas seulement de nouveaux corps, mais de nouveaux états physiques, énergétiques et temporels. Le ciel contemporain, tel qu'il se présente en ce début de troisième millénaire, est ainsi une superposition de couches hétérogènes, allant du très froid au très violent, du quasi immobile au transitoire extrême, du photon aux messagers non lumineux.

Nous allons regrouper les nouveaux « objets » et « phénomènes » astronomiques en nous centrant sur les processus, les interactions et les signaux, qui nourrissent la cosmologie contemporaine. Nous avons pu dégager six catégories, pour y organiser et ranger « objets » et « phénomènes », au nombre de trente-trois, suivant une logique de glissement conceptuel, du plus « classique »[41] vers le plus abstrait, en suivant la manière dont le ciel s'est élargi dans l'esprit des astronomes depuis Hubble.

L'élargissement dynamique de l'espace

Cet élargissement constitue la première rupture majeure du ciel moderne. Jusqu'aux années 1920, l'Univers observable est encore largement confondu avec la Voie lactée, perçue comme un système stellaire global, éventuellement entouré de nébuleuses internes. En l'espace de deux décennies, ce cadre explose.

---

[41] « Classique » renvoyant ici, à ce qui est directement visuellement observable, stable, localisable, individualisable et à un ciel composé d'objets discrets, durables et intuitivement compréhensibles.

Figure 21 Vue d'artiste de la Voie lactée et de galaxies lointaines : en projection (en haut), l'ensemble semble appartenir à un même plan, tandis qu'un changement de perspective (en bas) révèle la profondeur réelle et la dispersion des galaxies dans l'espace.

Les « nébuleuses spirales » deviennent des galaxies externes, autonomes, situées à des distances vertigineuses. Ce déplacement n'est pas un simple ajout d'objets lointains : il change l'échelle même du réel astronomique. Le ciel cesse d'être un espace clos et hiérarchisé autour de la Terre, il devient un volume profond, stratifié, sans centre privilégié.

La mise en évidence de cette profondeur repose sur la mesure des distances extragalactiques et sur la découverte d'une relation systématique entre distance et décalage spectral, synthétisée dans les travaux d'Edwin Hubble. Avec cette relation, qui deviendra loi universelle, l'Univers n'est plus seulement vaste, il est dynamique : les galaxies s'éloignent les unes des autres, non comme des projectiles dans un espace fixe, mais comme les marqueurs d'un espace lui-même en expansion. Cette idée introduit une temporalité cosmique globale, projetant l'Univers dans une histoire, avec un passé plus dense et plus compact que le présent.

Très vite, l'attention se déplace des galaxies individuelles vers leurs regroupements. On identifie des amas de galaxies, liés par leur gravitation, puis des superamas, vastes ensembles dont les dimensions dépassent tout ce qui avait été imaginé auparavant. À ces échelles, le ciel ne se présente plus comme une distribution aléatoire d'objets, mais comme une organisation hiérarchique, faite de filaments, de murs et de bulles, séparés par d'immenses vides. Ce que l'on appellera plus tard la structure à grande échelle commence à émerger, même si ses contours précis ne seront compris qu'à la fin du 20^{e} siècle.

Entre les années 1930 et 1950, ce premier choc transforme donc radicalement la nature du ciel. L'astronomie ne décrit plus un monde unique entouré d'objets secondaires, mais une pluralité de mondes, organisés en réseaux, inscrits dans un espace en expansion. Le passage d'un univers galactique à un univers de galaxies n'est pas seulement quantitatif, il marque l'entrée définitive de l'astronomie dans la cosmologie moderne, où l'objet ultime de la description n'est plus un système local, mais l'Univers lui-même comme structure globale.

Brouillards dans la nuit

Le second changement de nature du ciel concerne la reconnaissance de la matière diffuse comme composante fondamentale de l'Univers. À mesure que les instruments gagnent en sensibilité et que de nouvelles longueurs d'onde sont exploitées, le ciel cesse d'être interprété comme un ensemble d'objets ponctuels isolés. Il se révèle rempli de milieux continus, structurés, évolutifs, faits de gaz et de poussières, occupant l'espace entre les étoiles et entre les galaxies. Le milieu interstellaire, longtemps réduit à un simple résidu transparent, devient un acteur physique à part entière, doté de densités, de températures, de compositions chimiques et d'états d'ionisation variés.

Cette prise de conscience s'étend rapidement au-delà des galaxies. Le milieu intergalactique apparaît comme une composante massive et dynamique de l'Univers, support de l'échange de matière et d'énergie à grande échelle. À ces échelles diffuses, le ciel n'est plus dominé par des sources lumineuses bien délimitées, mais par des gradients, des phases thermiques (lorsque l'Univers traverse des périodes successives définies par son niveau de chaleur global), des transitions entre états physiques. L'astronomie devient sensible à ce qui remplit l'espace, et non plus seulement à ce qui y brille.

Les nuages moléculaires constituent un point nodal de ce nouveau ciel. Froids, denses, souvent opaques en optique, ils ne se révèlent pleinement qu'en radio et en infrarouge. Leur étude montre que la formation stellaire n'est pas un phénomène ponctuel ou rare, mais un processus continu, inscrit dans la dynamique même des milieux galactiques. Les étoiles ne sont plus des entités premières. Elles deviennent des produits transitoires de la condensation de la matière diffuse.

Avec cette transition, le ciel acquiert une dimension thermodynamique et chimique. Il se décrit en termes de phases de températures, de densités et de durée d'évolution. La matière cosmique n'est plus seulement localisée dans des objets discrets, elle circule, se transforme, s'assemble et se dissocie. Ce glissement marque un changement profond de regard : l'Univers n'est plus un décor peuplé d'astres, mais un milieu actif, parcouru de processus physiques continus, dont les objets visibles ne sont que les manifestations les plus condensées.

Une matière dans tous ses états

Vient ensuite la diversification des objets stellaires et post-stellaires, qui constitue un autre basculement majeur du ciel moderne. Les étoiles variables révèlent que la stabilité apparente du ciel est illusoire. La luminosité et la structure interne peuvent osciller, parfois de façon régulière, parfois chaotique. Les naines blanches, résidus compacts d'étoiles ordinaires, introduisent l'idée d'une matière dégénérée, soutenue non plus par des réactions nucléaires, mais par des principes quantiques.

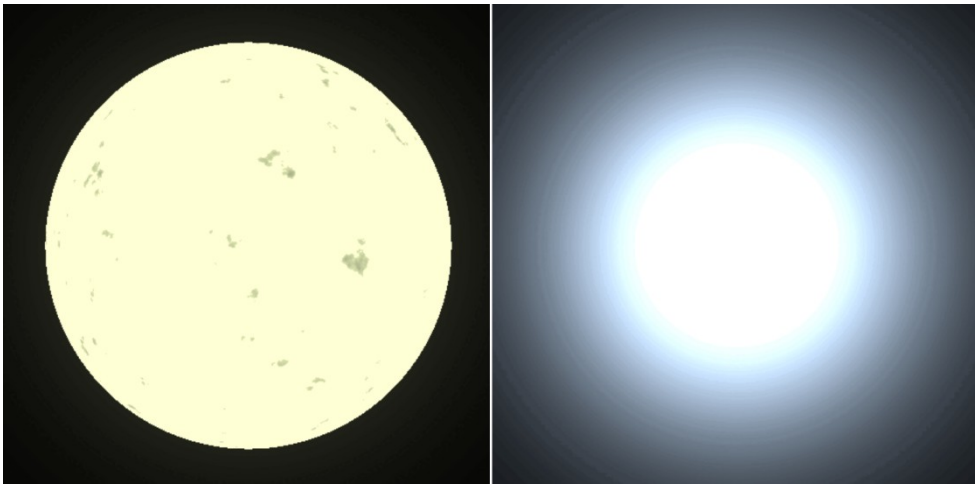

Figure 22 Représentation des deux apparences extrêmes d'une céphéide (une étoile variable, géante ou supergéante), montrant les changements de luminosité et de température.

Avec les étoiles à neutrons, les pulsars et les magnétars, le ciel bascule dans un état extrême. La matière y est comprimée à des densités sans équivalent ailleurs dans l'Univers observable, les champs gravitationnels et magnétiques atteignent des intensités prodigieuses, et la rotation devient un paramètre fondamental. Les pulsars, détectés d'abord en radio comme des balises cosmiques d'une précision stupéfiante, transforment l'astronomie en science du temps autant que de l'espace. Les magnétars, plus rares, imposent l'idée de champs magnétiques capables de remodeler la structure même de la matière.

Les supernovæ et leurs restes, enfin, jouent un rôle charnière. Elles marquent la mort violente de certaines étoiles, mais aussi la dissémination des éléments lourds dans le milieu interstellaire. Elles

relient la physique nucléaire, la dynamique stellaire et l'évolution chimique des galaxies. À travers elles, la fin d'une étoile devient un événement structurant à l'échelle cosmique.

À ce stade, le ciel n'est plus un simple inventaire d'astres, mais un catalogue d'états possibles de la matière, soumis à des conditions de densité, de température, de gravitation et de champ magnétique extrêmes. Cette diversité n'est pleinement révélée que par l'ouverture à la radioastronomie et aux domaines des rayons X et gamma, qui donnent accès à un Univers invisible en optique, dominé par l'instabilité, la violence et la transformation permanente.

La structure profonde de l'espace-temps

Avec les objets compacts et énergétiques extrêmes, le ciel franchit un seuil supplémentaire : il ne s'agit plus d'évolution stellaire, même violente, mais d'états dominés par la gravitation forte et la relativité générale. Les noyaux actifs de galaxies révèlent que le cœur de certaines galaxies est le siège de phénomènes sans commune mesure avec la physique stellaire ordinaire. Une source ponctuelle, plus lumineuse que l'ensemble de la galaxie qui l'héberge, impose l'idée qu'un mécanisme nouveau est à l'œuvre, concentrant énergie et matière dans un volume extrêmement réduit.

Les quasars en sont l'expression la plus spectaculaire. Observés à des distances cosmologiques immenses, ils témoignent d'une activité intense dans l'Univers jeune et montrent que les premières galaxies abritaient déjà des moteurs gravitationnels colossaux. Leur luminosité, leur variabilité rapide et leur décalage spectral extrême déplacent le ciel vers des échelles de puissance et de temps jusque-là inimaginables. L'Univers devient non seulement vaste et évolutif, mais capable de produire des sources d'énergie continues rivalisant avec des milliards d'étoiles.

Les jets relativistes prolongent cette rupture. Émis perpendiculairement aux disques d'accrétion, ils projettent de la matière et de l'énergie sur des distances dépassant parfois la taille des galaxies elles-mêmes. Leur collimation[42], leur stabilité et leurs

[42] En astrophysique des jets relativistes, la collimation désigne le confinement durable de l'écoulement sur de grandes distances, généralement assuré par des champs magnétiques et la dynamique du système central.

vitesses proches de celle de la lumière imposent une lecture pleinement relativiste des phénomènes observés. Le ciel n'est plus seulement peuplé d'objets, il est traversé de flux, de faisceaux et de structures dynamiques reliant les échelles du noyau galactique à celles du milieu intergalactique.

Au cœur de ce tableau s'imposent les trous noirs, ainsi que les binaires compactes[43] qui en constituent les laboratoires dynamiques les plus extrêmes. Longtemps considérés comme des curiosités théoriques, ils deviennent des objets astrophysiques centraux, aussi bien sous forme stellaire que supermassive. Ils ne sont pas observés directement, mais par leurs effets gravitationnels et énergétiques : accrétion, émissions X, jets, perturbations orbitales. Avec eux, la gravitation cesse d'être un simple support géométrique, elle devient une source directe de phénomènes observables.

Dans ce cadre, la matière stellaire n'est plus première. Elle n'est qu'un carburant soumis à des champs gravitationnels extrêmes, où l'espace et le temps eux-mêmes entrent dans la dynamique. Le ciel bascule alors définitivement du côté d'une astrophysique relativiste, où comprendre les objets revient à comprendre la structure profonde de l'espace-temps.

L'univers statistique

Le ciel change encore de nature : il cesse d'être composé d'objets identifiables pour devenir un ensemble de signaux globaux et d'effets statistiques. Le *fond diffus cosmologique* pousse cette logique à son terme. Il ne provient pas d'objets, mais d'un état global de l'Univers ancien, lorsque celui-ci devient transparent au rayonnement. Ce « fond » n'est ni ponctuel ni localisable : il est partout, isotrope à grande échelle, et pourtant porteur d'une structure fine. Avec lui, l'observation astronomique se détache définitivement de l'idée de source discrète pour devenir lecture d'un champ fossile.

[43] Les binaires compactes sont des systèmes stellaires formés de deux objets compacts (étoiles à neutrons et/ou trous noirs) en orbite serrée, dont l'évolution est dominée par la gravitation relativiste. Elles sont observées indirectement par leurs émissions électromagnétiques de haute énergie et, lors de leur spirale et fusion, par les ondes gravitationnelles.

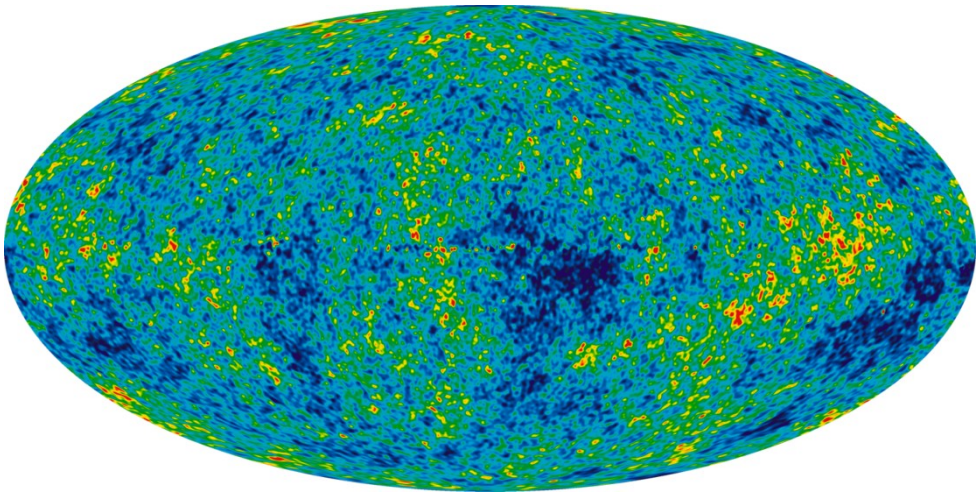

Figure 23 Carte complète du fond diffus cosmologique (en réalité, ce fond nous enveloppe comme une sphère), reconstitué à partir de clichés pris par le satellite spatial WMAP.

Les anisotropies de ce fond marquent un seuil conceptuel supplémentaire. Elles sont trop faibles pour être perçues comme des objets, mais trop structurées pour être du bruit. Ce sont des variations statistiques, des écarts minuscules autour d'une uniformité dominante, qui codent l'histoire primitive de l'Univers. Le ciel devient ici un ensemble de corrélations, de spectres angulaires et de paramètres ajustés, bien plus qu'une carte au sens classique.

La matière noire et l'énergie sombre radicalisent encore cette transformation. Elles ne sont pas observées directement, ni par émission ni par absorption. Leur présence est inférée à partir de déficits, d'excès, de comportements dynamiques incompatibles avec la matière visible seule. Courbes de rotation, lentilles gravitationnelles, accélération de l'expansion : le ciel se lit désormais à travers ce qui manque autant que par ce qui est présent. L'astronomie devient une science des effets gravitationnels globaux.

À ce stade, le ciel n'est plus une collection de lumières, mais un système physique reconstruit indirectement. On n'observe plus des sources, mais des signatures. Il n'y a plus d'objets, mais des distributions ; plus d'images[44], mais des statistiques. Ce basculement

[44] J'invite le lecteur à consulter cet article scientifique (Planck Collaboration, 2020), qui fait un bilan de l'étude du fond diffus cosmologique (lorsque l'univers est devenu transparent et lumineux, 380 mille ans après le *Big*

marque l'entrée dans une cosmologie de précision, où l'Univers est appréhendé comme un tout mesurable, même lorsque ses composantes principales demeurent invisibles.

Le ciel contemporain

Le dernier changement de nature du ciel correspond à son état contemporain, où l'observation ne se réduit plus à la constitution d'images ou de catalogues, mais à l'exploitation continue de flux de données hétérogènes. Les exoplanètes, les atmosphères exoplanétaires et les disques protoplanétaires illustrent un retour apparent vers des objets plus « familiers », mais ce retour est trompeur : ces objets ne sont pas découverts par vision directe, mais par signatures indirectes, variations spectrales, transits, vitesses radiales ou imagerie différentielle à la limite des capacités instrumentales. Le ciel exoplanétaire devient un champ d'analyses statistiques, où chaque système est reconstruit à partir d'indices fragmentaires.

Les phénomènes transitoires imposent une autre rupture. Sursauts gamma, kilonovæ[45], transitoires rapides[46] ou événements de marée[47] ne se laissent pas cartographier durablement. Ils surgissent, disparaissent, et n'existent comme objets scientifiques que par leur détection en temps réel et leur archivage. Le ciel cesse

---

Bang) par le télescope spatial Planck. Non pas pour lire ses 56 pages en anglais ou comprendre ses tableaux statistiques, mais pour y admirer les très belles « images » (vous pouvez télécharger le PDF ici : https://bit.ly/4k9102p).

[45] Un classement astrophysique pour des événements environ mille fois (kilo) plus énergétiques qu'une nova classique, mais nettement moins qu'une supernova.

[46] Phénomènes astrophysiques brefs, parfois d'une durée de quelques millisecondes à quelques heures, qui apparaissent et disparaissent sans laisser de source persistante facilement observable.

[47] Les événements de marée sont des révélateurs de trous noirs massifs au centre des galaxies. Ils correspondent à la destruction partielle ou totale d'une étoile lorsqu'elle s'approche trop près du trou noir. Les forces de marée étirent, puis déchirent l'étoile imprudente. Une partie de la matière de cette étoile est alors capturée par le trou noir, produisant un sursaut lumineux transitoire (dans le visible, en rayons X ou en ultraviolet).

d'être un tableau stable pour devenir un événementiel permanent, surveillé en continu par des réseaux d'instruments coordonnés.

Avec les ondes gravitationnelles et les neutrinos, l'astronomie franchit définitivement la frontière du photon. Ces messagers ne dessinent aucune image. Ils livrent des signaux temporels, des corrélations, des coïncidences. Leur interprétation repose sur la synchronisation entre observatoires sur toute la surface terrestre, sur la comparaison de signatures et sur la modélisation théorique. Le ciel n'est plus regardé, il est écouté et corrélé.

L'astronomie multi-messagers synthétise cette transformation. Un même événement astrophysique peut désormais être appréhendé par la lumière, les ondes gravitationnelles, les neutrinos et parfois les rayons cosmiques. L'objet n'existe plus dans un canal unique, mais comme une convergence de signaux partiels, répartis dans le temps et dans le spectre électromagnétique. L'Univers devient un système polyphonique, dont la compréhension suppose la superposition de lectures distinctes.

Enfin, la cartographie galactique de précision et l'exploration de l'Univers primordial achèvent ce basculement. D'un côté, la Voie lactée est reconstruite comme un système dynamique global, à partir de milliards de mesures individuelles, de l'autre, l'Univers lointain primordial est sondé jusqu'à ses premières structures observables (des galaxies à très grand décalage spectral). Le ciel contemporain n'est plus une image figée, mais une base de données évolutive, multi-échelles et multi-messagers, où la connaissance progresse par corrélation, accumulation et mise en cohérence plutôt que par simple observation visuelle.

EN CONCLUSION

Dans les années 1930, l'Univers, tel qu'il se dessinait à la suite des travaux d'Edwin Hubble, restait conceptuellement simple. Il était déjà immense, peuplé de galaxies externes, et en expansion, mais sa structure globale demeurait largement indéterminée. On ignorait sa courbure, son étendue réelle, même s'il possède une taille finie. L'Univers de Hubble était avant tout un Univers observé localement : quelques centaines de millions d'années-lumière tout au plus, sans horizon clairement défini, sans modèle géométrique stabilisé et sans véritable distinction entre Univers observable et Univers total.

Aujourd'hui, en ce premier quart du 21e siècle, la situation est radicalement différente. L'Univers observable est défini comme la région dont la lumière a eu le temps de nous parvenir depuis l'origine cosmique, ce qui conduit à une taille actuelle, pour cet Univers observable, de l'ordre de 93 milliards d'années-lumière de diamètre, soit 880 000 milliards de milliards de kilomètres[48]. Cette valeur, contre-intuitive, résulte de l'expansion de l'espace lui-même : les régions dont la lumière a été émise il y a environ 13,8 milliards d'années sont désormais beaucoup plus éloignées qu'elles ne l'étaient au moment de l'émission. Le ciel n'est plus seulement profond, il est borné par un horizon cosmologique[49], concept absent du cadre hubbelien initial.

La forme globale de l'Univers est également mieux contrainte. Les observations actuelles indiquent un Univers très proche de la géométrie plate, au sens relativiste, à grande échelle. Cela ne signifie pas qu'il soit nécessairement infini, mais que, s'il est fini, son rayon de courbure dépasse largement celui de l'Univers observable. En d'autres termes, même si l'Univers possède une topologie globale fermée, celle-ci reste hors de portée observationnelle. Cette distinction entre ce qui est mesuré et ce qui est extrapolé marque une maturité conceptuelle absente dans les années 1930.

L'écart entre l'Univers hubbelien et l'Univers contemporain n'est donc pas seulement quantitatif, même s'il est vertigineux. Il est aussi conceptuel. L'Univers de Hubble est un espace qui s'agrandit. L'Univers actuel est un espace-temps structuré, doté d'un âge, d'un horizon, d'une histoire thermique, et possiblement d'une extension bien au-delà de ce que nous pouvons observer. Ce passage transforme l'astronomie en cosmologie au sens fort : non plus la description d'un contenu, mais l'étude d'un tout, l'universel, dont la forme, la taille et les limites relèvent autant de l'observation que de la physique fondamentale.

---

[48] À rapprocher des « petits » 100 milliards de milliards de kilomètres de l'Univers de Hubble en 1930.

[49] L'horizon cosmologique est une limite, au-delà de laquelle les événements ne peuvent pas nous affecter ni être observés, non parce que l'Univers s'arrête, mais parce que la lumière émise au-delà de cette frontière n'a pas eu le temps de nous atteindre depuis le début de l'expansion. Cet horizon marque ainsi, non une borne spatiale, mais une frontière liée au temps et à la dynamique de l'Univers.

Des milliers de chercheurs par le monde explorent ainsi à distance l'Univers. Des millions de passionnés prennent connaissance de leurs résultats dans des articles, des livres de vulgarisation et des documentaires vidéo sur internet. Des milliards sont dépensés pour financer tout cela, faire vivre théoriciens, ingénieurs, techniciens, concevoir et construire les instruments, les envoyer dans l'espace. On peut alors se poser la question des retombées pratiques et des bienfaits que cela apporte à l'humanité.

Les 33 objets et phénomènes du ciel au 21e siècle.

- Galaxies externes et groupes de galaxies
- Amas de galaxies et superamas
- Expansion cosmique et structures à grande échelle
- Décalage spectral cosmologique
- Milieu interstellaire et milieu intergalactique
- Nuages moléculaires et régions de formation stellaire
- Étoiles variables et populations stellaires
- Étoiles à neutrons
- Naines blanches Étoiles à neutrons
- Pulsars
- Magnétars
- Supernovæ
- Restes de Supernovæ
- Noyaux actifs de galaxies
- Quasars
- Jets relativistes
- Trous noirs stellaires
- Trous noirs supermassifs
- Binaires compactes
- Rayons cosmiques
- Fond diffus cosmologique
- Anisotropies du fond diffus cosmologique
- Matière noire
- Énergie sombre
- Exoplanètes
- Disques protoplanétaires
- Atmosphères exoplanétaires
- Objets transitoires
- Ondes gravitationnelles
- Sources de neutrinos astrophysiques
- Astronomie multi-messagers
- Cartographie dynamique de la Voie lactée
- Univers lointain primordial

De fait, les retombées sont concrètes, mais rarement là où on les attend, et presque jamais sous la forme d'applications directes « prévues » à l'avance. L'astronomie et l'astrophysique sont des sciences exploratoires fondamentales, et leurs effets pratiques

apparaissent surtout comme des dérivations instrumentales, méthodologiques ou conceptuelles, souvent décalées dans le temps.

La première catégorie de retombées concerne l'instrumentation. L'astronomie pousse en permanence les limites de la détection de signaux faibles, du bruit, de la résolution spatiale et temporelle. Cela a conduit à des avancées majeures en optique, en capteurs CCD et CMOS (appareils photo numériques, smartphones, webcams et caméras vidéo), en cryogénie, en électronique basse température, en traitement du signal et en imagerie. Des domaines entiers de la médecine (imagerie médicale, scanners, IRM, détection photonique), de l'observation de la Terre, ou de la surveillance environnementale, utilisent aujourd'hui des technologies issues de développements astronomiques, parfois sans en conserver la mémoire.

La seconde catégorie est computationnelle et statistique. L'astrophysique moderne travaille sur des volumes de données massifs, hétérogènes, incomplets, bruités. Les méthodes de reconstruction inverse, de corrélation multi-échelles, de filtrage, d'apprentissage automatique ou d'inférence bayésienne ont été largement développées ou raffinées dans ce contexte. Ces outils irriguent ensuite la finance, la climatologie, la biologie, l'analyse de réseaux ou la détection d'anomalies industrielles. Là encore, la retombée n'est pas un « résultat astronomique », mais une façon de penser et de traiter l'information.

Il existe aussi une retombée plus structurelle, souvent sous-estimée : la maîtrise des systèmes complexes. L'astrophysique oblige à raisonner sur des systèmes non expérimentables, non reproductibles, gouvernés par plusieurs états physiques simultanés (gravitation, plasmas, relativité, turbulence, nucléaire). Cette école de pensée a profondément influencé l'ingénierie des systèmes critiques, la modélisation climatique, la gestion des incertitudes et la prise de décision sous contrainte de données partielles.

Enfin, il existe une retombée culturelle et cognitive, moins immédiatement « pratique », mais historiquement décisive. La cosmologie moderne a transformé notre rapport au temps, à l'espace, à l'origine, à la finitude, et à la place de l'humain. Ces transformations irriguent indirectement le droit, l'éthique, la philosophie, l'éducation et même la manière dont les sociétés (modernes occidentales) pensent le long terme.

À l'échelle historique, ce type de retombée est souvent plus profond et plus durable que n'importe quelle application technologique ponctuelle. Il n'est que de songer à la recherche active, pourtant si difficile, des exoplanètes, dans des systèmes solaires autres, à la poursuite des signes d'une exobiologie (planètes situées dans la zone orbitale tempérée de leur étoile, présence d'une atmosphère et de marqueurs chimiques comme l'eau, l'oxygène ou le méthane), qui cache le filigrane d'une possible intelligence, comme on dit dans les fictions, « extraterrestre »[50].

En résumé, astronomie et astrophysique ne produisent pas des gadgets, elles produisent des capacités : voir l'invisible, extraire du sens du bruit, raisonner sur l'inaccessible et accepter l'incertitude comme donnée structurante. C'est peu spectaculaire à court terme, mais ce sera, nous n'en doutons pas, extraordinairement fécond à long terme.

Ainsi se dessine un ciel désormais pleinement reconstruit, non plus comme un simple décor observable, mais comme un ensemble de structures, de processus et d'états physiques hétérogènes, accessibles par médiation instrumentale et théorique. Cette transformation conduit naturellement à déplacer la question : après avoir identifié les objets, les événements et les messagers de l'Univers, il devient nécessaire d'interroger le cadre même dans lequel ils s'inscrivent. Le chapitre suivant abordera donc les dimensions et les géométries de l'Univers, non comme des abstractions mathématiques détachées de l'observation, mais comme les conditions profondes qui rendent possibles ces phénomènes, depuis l'espace-temps relativiste jusqu'aux formes plus spéculatives de l'architecture cosmique.

[50] Voir Drake, 1961 et Kasting, 1993.

Troisième partie

GÉOMÉTRIES ET TAILLES DE L'UNIVERS

1. Les géométries de l'univers

Dans le cadre d'une cosmologie dite « standard », fondée sur le *Big Bang*[51], l'Univers est considéré comme *homogène* (ce qui veut dire identique en tout point, sans lieu privilégié) et *isotrope* (ce qui veut dire identique dans toutes les directions, sans direction privilégiée). Bien sûr, tout cela à « grande échelle ».

Qu'est-ce qu'on entend par « grande échelle » ? Nous ne sommes plus à l'échelle de la galaxie, ni des amas de galaxies, ni même des superamas de galaxies, ni même de la mousse de galaxies (vous savez, les filaments et les murs de galaxies, autour de grandes bulles d'espace vide…). Une « grande échelle » c'est encore… plus grand !

La « grande échelle » c'est plutôt quelques 1 000 milliards de milliards de kilomètres. Par exemple, 2 000 ou 3 000 ou 4 000 milliards de milliards de kilomètres, selon les modèles envisagés. C'est à de telles distances que l'univers est dit homogène et isotrope. Tout cela pour dire que cet Univers est décrit par les géométries de Friedmann–Lemaître–Robertson–Walker (FLRW)[52]. Dans ce cadre, on distingue trois géométries spatiales possibles : (1) la géométrie fermée à courbure positive ; (2) la géométrie plate à courbure nulle ; et (3) la géométrie ouverte à courbure négative. Toutes ces « géométries » sont abstraites et très difficiles à comprendre d'une manière intuitive. Essayez, cherchez sur internet tout ce qui se rapporte à « hypersphère », mal de tête garanti ! Une seule solution : mettre en scène pour stimuler l'imagination.

Une géométrie fermée à courbure positive

C'est celle de l'hypersphère. Qu'est-ce qu'une hypersphère ? Non, ce n'est pas une sorte de super-super-sphère avec des gros muscles. Ce serait même, à première vue, une sphère bien handicapée. Si vous êtes sur une sphère ordinaire, disons la Terre, vous pouvez vous tenir debout. Vous pouvez marcher dessus, sauter en l'air ou creuser un

[51] Nous allons y venir !

[52] Le modèle FLRW désigne la classe de solutions exactes des équations d'Einstein décrivant un univers homogène et isotrope à « grande échelle », fondement du modèle cosmologique standard.

trou. Mais pour savoir si votre espace est hypersphérique ou autre chose, vos moyens terrestres ne suffiront pas. Tout simplement parce que vous devez voir la chose cosmique à « grande échelle » ! Vous devez pouvoir parcourir en un clin d'œil 4 000 milliards de milliards de kilomètres. Et pour cela, même une fusée de Science-Fiction, qui irait à la vitesse de la lumière (je rappelle que c'est la vitesse limite, celle qu'on ne peut pas dépasser, 1 milliard 80 millions de kilomètres par heure), ne vous sera d'aucune aide. Trop lente ! Vous devez prendre une fusée d'Hyper-Science-Fiction, qui va bien plus vite que la lumière.

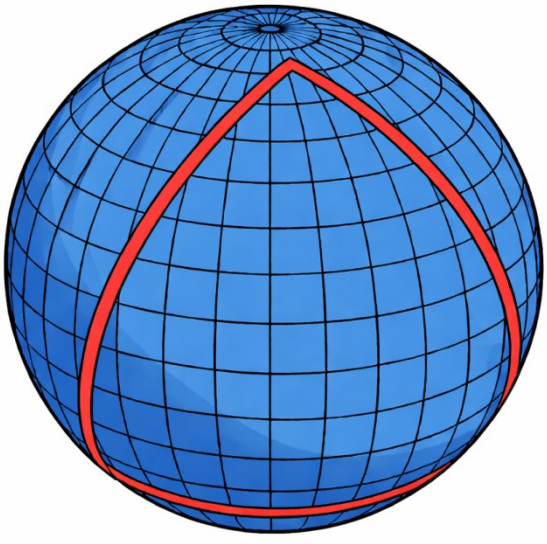

Figure 24 Modèle sphérique d'un espace fermé à courbure positive.

Bon, cela ne peut pas exister, nous le savons, mais là n'est pas la question. Nous cherchons à comprendre et pour cela nous allons faire ce que font tous les grands savants, y compris Einstein[53] : une expérience de pensée. Imaginons donc une fusée d'Hyper-Science-Fiction, qui peut aller arbitrairement vite, beaucoup plus vite que la lumière, sans limite d'énergie, sans vieillissement (vous êtes quasi éternel, cela va sans dire), sans être gênée par l'expansion de l'Univers. Vous partez d'un point quelconque de l'espace, disons le petit champ à côté de la maison, sur la planète Terre que vous

[53] Vers l'âge de 16 ans, Albert Einstein se représentait mentalement une situation simple et radicale : que verrait-on si l'on pouvait « chevaucher » un rayon lumineux et se déplacer à la même vitesse que lui ?

connaissez bien. Vous choisissez une direction, disons vers l'ouest du champ, et vous avancez toujours « tout droit ». Pas de virage, pas de correction, pas de manœuvre. Toujours tout droit ! Il paraît que cela s'appelle « suivre une géodésique spatiale ». Bon, pourquoi pas.

Dans un espace hypersphérique, il se passe ceci : au début, absolument rien de spécial. Pendant un très long temps tout ressemble à un espace ordinaire. Les galaxies s'éloignent, mais aucune sensation de courbure globale. Puis, à des distances immenses, bien au-delà de tout ce que nous appelons observable, la trajectoire commence à révéler la fermeture de l'espace. Sans jamais rencontrer de mur, sans jamais faire demi-tour, vous finissez par revenir du « côté opposé »… et finalement, vous réapparaissez au point de départ, par l'arrière. Sur Terre, dans le petit champ à côté de la maison, vous atterrissez en arrivant de l'est.

Et là, c'est le moment vertigineux : vous n'avez jamais changé de direction, vous n'avez jamais contourné un objet, vous n'avez jamais quitté l'espace. Il n'y a pas de centre autour duquel vous auriez tourné. Il n'y a pas d'extérieur. Il n'y a pas de raccourci caché. C'est l'espace lui-même qui est fermé. Cependant, même avec cette fusée d'Hyper-Science-Fiction, vous ne « verrez » pas l'hypersphère comme un objet. Vous ne direz jamais « ah, voilà la courbure ! ». Vous constaterez seulement, après coup, que votre trajectoire est fermée. La géométrie de l'Univers ne se donne pas comme une image mentale, mais comme une propriété globale du parcours.[54]

Une géométrie plate à courbure nulle

Vous êtes dans votre fusée d'Hyper-Science-Fiction. Au début, comme d'habitude, rien de spécial. Pendant un très long temps tout ressemble à un espace ordinaire. Vous traversez des régions de l'Univers de plus en plus lointaines, des galaxies, puis des zones de plus en plus vides. Tout se passe comme si l'espace était infini et parfaitement banal. Et justement, c'est là que se joue toute la différence.

[54] Et avec l'expansion accélérée de l'univers ? La géométrie peut être fermée, mais causalement inaccessible dans sa totalité. Alors ? Envisager une sorte de vitesse infinie pour votre fusée d'Hyper-Science-Fiction ? Pourquoi pas ? Je vous laisse imaginer !

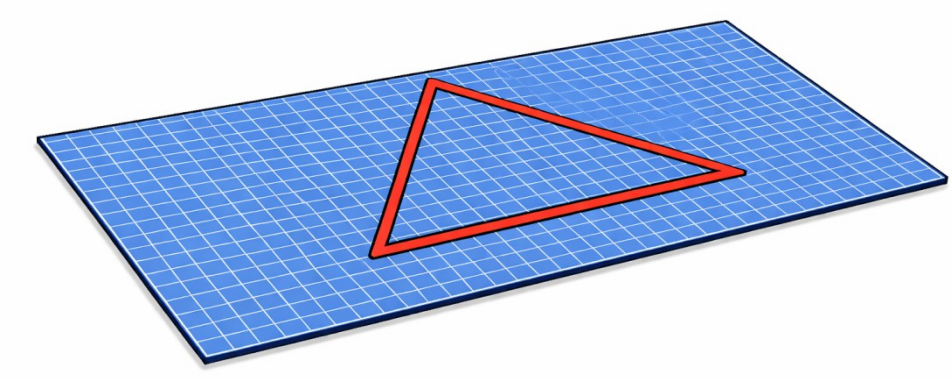

Figure 25 Modèle plat d'un espace à courbure nulle.

Vous pouvez aller aussi vite que vous le voulez, aussi longtemps que vous le voulez, vous n'êtes jamais ramené quelque part. Vous ne bouclez pas. Vous ne revenez pas par surprise dans votre champ en arrivant « par l'est ». Vous continuez. Encore et encore, sans fin. Il n'y a pas de retour caché, pas de raccourci cosmique, pas de fermeture de l'espace. L'espace ne se replie pas sur lui-même. Il n'a ni bord, ni centre, ni point spécial. Avancer tout droit, cela veut dire s'éloigner indéfiniment. Et si vous décidez de vous en retourner au point de départ, ce n'est pas parce que l'espace vous y oblige, mais uniquement parce que vous avez décidé de faire demi-tour.

Autrement dit, dans une géométrie plate à courbure nulle, l'expérience de pensée est presque décevante. La fusée d'Hyper-Science-Fiction ne révèle rien de spectaculaire. Elle confirme simplement ceci : pour une géométrie plate à courbure nulle, l'espace n'a aucune structure globale qui puisse se manifester par un retour automatique. Il est ouvert, non refermé sur lui-même, et avancer « toujours tout droit » ne mène nulle part ailleurs qu'encore plus loin. L'espace se contente d'être là, partout pareil, indéfiniment.

Une géométrie ouverte à courbure négative

« Vous êtes dans votre fusée d'Hyper-Science-Fiction. Au début, comme d'habitude, rien de spécial. Pendant un très long temps tout ressemble à un espace ordinaire. Vous traversez des régions de l'Univers de plus en plus lointaines, des galaxies, puis des zones de plus en plus vides. Tout se passe comme si l'espace était infini et parfaitement banal… »

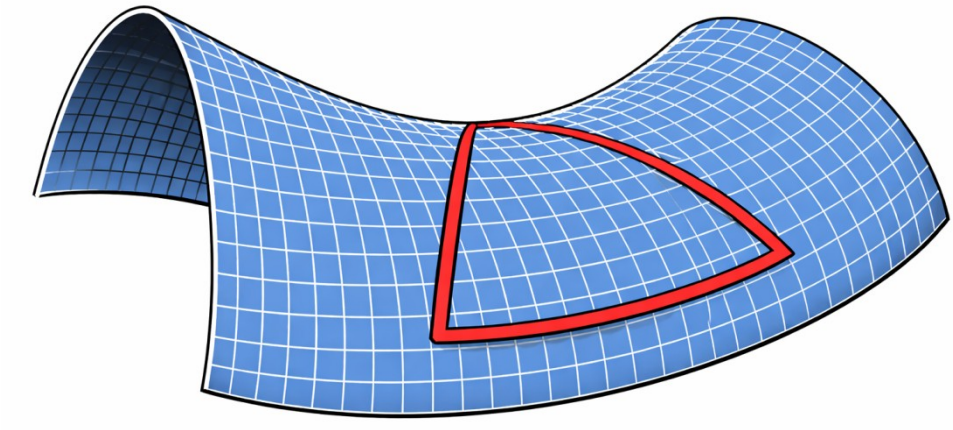

Figure 26 Modèle hyperbolique d'un espace ouvert à courbure négative.

Vous avez vu ? Je viens de copier-coller le premier paragraphe qui explique la « géométrie plate à courbure nulle ». Ce qui veut dire que si vous vous contentez de votre voyage en fusée, vous ne verrez aucune différence entre le « plat à courbure nulle » et l'« ouvert à courbure négative ». Il vous faut autre chose. Par exemple, une fois que votre fusée a décollé, vous en éjectez deux sondes qui vont suivre votre fusée en suivant des trajectoires parallèles, comme dans un espace plat. Au début… Car dans une géométrie ouverte à courbure négative, à mesure que vous progressez, la distance entre les deux sondes et votre fusée augmente plus rapidement que ce que prédirait la géométrie plate.

Sans accélération, sans force, sans intervention extérieure, les trajectoires au départ « parallèles » s'écartent de plus en plus. Vous ne voyez pas l'espace se déformer, vous ne ressentez rien localement, mais vos instruments vous indiquent que les distances croissent trop vite. Ce n'est pas vous qui divergez : c'est l'espace lui-même qui s'ouvre.

Pour nous résumer : dans un espace hypersphérique, vous revenez au point de départ sans le vouloir ; dans un espace plat, vous partez sans jamais revenir ; et dans un espace ouvert à courbure négative, vous partez sans jamais revenir, mais en plus l'espace s'écarte toujours davantage devant vous. Tout cela, évidemment, à « grande échelle », du genre 4 000 milliards de milliards de kilomètres, parcourus avec une fusée d'Hyper-Science-Fiction, qui va bien plus vite que la lumière.

Une chose est certaine : ces géométries ne nous disent pas si l'Univers est fini ou infini. Les observations actuelles du fond diffus cosmologique[55], combinées aux relevés des grandes structures, indiquent pour notre Univers une géométrie très proche de la platitude à l'échelle observable. Cela signifie que, dans les limites de précision actuelles, la courbure spatiale globale de notre Univers est compatible avec zéro, sans pour autant exclure une courbure extrêmement faible, positive ou négative, à des échelles bien supérieures à l'Univers observable. Cette quasi-platitude s'interprète naturellement dans les scénarios inflationnaires où, juste après le *Big Bang*, une phase d'expansion exponentielle a aplati toute courbure initiale, rendant l'espace localement indiscernable d'un espace euclidien plat.

Des géométries étranges

D'autres géométries ont-elles pu être envisagées pour l'Univers ? Les trois géométries FLRW (courbures positive, nulle et négative), que nous venons de voir, ne sont pas « toutes les géométries possibles », mais toutes celles qui respectent simultanément l'homogénéité et l'isotropie exactes de l'Univers à grande échelle. Autrement dit, elles sont le résultat d'un choix de symétrie extrêmement fort et non pas d'une nécessité géométrique absolue. Dès que l'on relâche ne serait-ce qu'un peu ces hypothèses, d'autres géométries cosmologiques apparaissent.

Très tôt, on a envisagé des univers homogènes, mais « anisotropes », où l'espace est le même en tout point, mais pas identique dans toutes les directions. C'est le cas des modèles de Bianchi[56], qui constituent une classification complète des géométries

[55] Si vous vous souvenez, il s'agit de la fameuse image multicolore, en forme de mappemonde, apparue dans les médias entre 2009 et 2013 (Fig. 23).

[56] Les modèles cosmologiques dits « de Bianchi » reposent sur la classification des espaces tridimensionnels homogènes établie par le mathématicien italien Luigi Bianchi à la fin du 20 siècle. Dans son mémoire fondamental de 1898, *Sugli spazi a tre dimensioni che ammettono un gruppo continuo di movimenti* (Sur les espaces tridimensionnels qui admettent un groupe continu de mouvements), Bianchi montre qu'il existe neuf types distincts de géométries homogènes possibles, caractérisées par leurs groupes de symétrie. Appliquées à la relativité générale au 20e siècle, ces géométries donnent lieu aux modèles cosmologiques de Bianchi, qui

spatiales homogènes possibles en relativité générale[57]. Dans ces univers, l'expansion peut être différente selon les axes. L'espace peut être « étiré » dans une direction et « comprimé » dans une autre, sans qu'il y ait de centre ni de bord. Ces modèles ont été étudiés notamment pour comprendre si un univers initialement anisotrope pouvait évoluer vers un état quasi isotrope comme le nôtre. Ces modèles n'ont rien d'exotique mathématiquement, mais ils compliquent fortement l'expérience de pensée du voyageur partant de son petit champ, car la notion même de « aller tout droit » devient dépendante de la direction.

Il existe aussi des géométries homogènes, mais non isotropes, associées à des structures dynamiques particulières, comme l'univers de Gödel[58], où la matière en rotation induit des effets globaux de rotation de l'espace-temps, allant jusqu'à permettre, mathématiquement, des courbes temporelles fermées. Là, ce n'est plus seulement l'espace qui est étrange, mais la causalité elle-même. Ces modèles sont parfaitement cohérents au sens des équations d'Einstein, mais ils sont écartés pour des raisons observationnelles et physiques, pas géométriques.

D'autres géométries ont été envisagées en abandonnant même l'homogénéité globale, par exemple dans des univers « grumeleux », fractals ou hiérarchiques, où l'idée d'une courbure spatiale unique perd son sens. Dans ces cadres, la géométrie n'est plus caractérisée par un simple signe de courbure, mais par une structure multi-échelle. Ce sont des approches minoritaires, mais elles ont joué un rôle conceptuel important, notamment dans les discussions sur la validité du principe cosmologique (homogénéité et isotropie à l'échelle globale de l'Univers).

Enfin, il faut distinguer géométrie locale et topologie globale. Même en restant dans une géométrie plate, on peut avoir un espace fermé du point de vue topologique, par identification des bords, comme dans le cas d'un tore tridimensionnel. Dans ce cas,

---

généralisent le cadre FLRW en autorisant des univers homogènes, mais anisotropes. Ils jouent un rôle conceptuel important dans l'étude de l'Univers primordial et dans l'analyse de la stabilité de l'isotropie cosmologique, sans être privilégiés par les observations actuelles.

[57] Ellis et MacCallum, 1969. Wainwright et Ellis, 1997.

[58] Gödel, 1949.

l'expérience de pensée du voyageur qui revient dans son petit champ, « par derrière », redevient possible… sans courbure positive. Là encore, la géométrie locale ne suffit plus à caractériser l'univers : c'est la topologie qui parle.

Si beaucoup d'autres géométries ont été envisagées, les trois géométries FLRW sont celles qui survivent lorsque l'on impose une symétrie maximale compatible avec les observations. Ces trois géométries ne sont pas « vraies par essence », elles sont simplement les plus sobres du point de vue conceptuel. D'un point de vue scientifique, elles sont les plus stables et les plus efficaces pour décrire l'Univers tel qu'on l'observe aujourd'hui : un Univers pratiquement plat.

Un Univers quasi plat

Aujourd'hui, l'Univers est considéré comme « quasi plat », c'est-à-dire compatible avec une courbure spatiale égale à zéro, dans la limite des incertitudes observationnelles. Ce point est central dans la cosmologie contemporaine, non pas comme une hypothèse esthétique, mais comme un résultat empirique, issu de plusieurs observations indépendantes, qui convergent remarquablement.

Le pilier principal est l'étude du fond diffus cosmologique[59]. Les anisotropies angulaires de ce rayonnement fossile, émises lorsque l'univers avait environ 380 000 ans, constituent une véritable carte géométrique projetée sur le ciel. En particulier, la taille angulaire des premières oscillations du plasma primordial fournit un étalon cosmologique. Dans une géométrie à courbure positive, ces structures apparaîtraient plus grandes que prévu ; dans une géométrie à courbure négative, elles apparaîtraient plus petites. Les mesures réalisées successivement par les satellites COBE, WMAP et Planck, montrent que cette taille correspond exactement à ce qu'on attend d'une géométrie euclidienne, donc plate, à grande échelle.

Ce résultat ne repose pas uniquement sur le fond diffus cosmologique. Il est renforcé par la combinaison avec d'autres mesures géométriques de l'Univers. Comme la relation distance-décalage spectral des supernovæ de type Ia[60], les oscillations

[59] Planck Collaboration (2020).

[60] Lire un-a, I étant le chiffre romain « un » et « a » une sous-classification. Les supernovæ de type Ia sont des explosions thermonucléaires résultant de

baryoniques[61] dans la distribution des galaxies, et les mesures de lentille gravitationnelle à grande échelle. Toutes ces observations sondent différemment la relation entre les distances, les angles (les tailles apparentes) et l'expansion, et toutes convergent vers un Univers spatialement quasi plat. La robustesse du résultat vient précisément de cette convergence entre les différentes observations, et non d'une mesure isolée.

Qualifier l'Univers de « quasi plat » signifie que le rayon de courbure spatial, s'il n'est pas infini, est très supérieur à l'horizon (l'Univers) observable. Autrement dit, même si l'espace était très légèrement fermé ou très légèrement ouvert, sa courbure serait si faible qu'aucune expérience géométrique réalisable à l'échelle de l'Univers observable ne permettrait de la détecter directement.

Ce quasi-plat s'insère naturellement dans le cadre théorique de l'inflation cosmique. Les scénarios inflationnaires prédisent que toute courbure initiale, positive ou négative, est rapidement diluée par une phase d'expansion exponentielle très précoce, rendant l'univers observable presque parfaitement plat, quelle que soit sa géométrie globale ultime. Le fait que l'univers apparaisse aujourd'hui si proche du plat est donc à la fois une confirmation observationnelle et un argument indirect en faveur de l'inflation, sans toutefois en constituer une preuve unique.

---

la déstabilisation d'une naine blanche composée principalement de carbone et d'oxygène, généralement dans un système binaire, lorsqu'elle atteint une masse critique proche de la limite de Chandrasekhar (environ 1,4 fois la masse du Soleil, lorsque la pression des électrons ne compense plus la gravitation). Leur intérêt cosmologique tient à leur remarquable homogénéité intrinsèque et à l'existence de relations empiriques permettant de standardiser leur luminosité maximale. Elles constituent ainsi des « chandelles standard » pour mesurer les distances cosmologiques à grande échelle. L'observation de supernovæ Ia lointaines a mis en évidence, à la fin des années 1990, une expansion accélérée de l'Univers, impliquant l'existence d'une hypothétique composante d'énergie sombre dans le cadre du modèle cosmologique standard.

[61] Les oscillations baryoniques désignent l'empreinte fossile, dans la distribution spatiale des galaxies, des ondes de compression qui se propageaient dans le fluide photon–baryon (proton, neutron) de l'Univers primordial avant la recombinaison (liaison des électrons aux noyaux atomiques). Il y a ainsi un lien direct entre la physique du plasma primordial et la structuration ultérieure de l'Univers.

Enfin, il est important de souligner une limite conceptuelle souvent mal comprise : une géométrie localement quasi plate n'implique pas nécessairement un univers globalement infini. Comme nous l'avons précisé dans la section concernant les « Géométries étranges », un espace peut être rigoureusement plat et néanmoins fermé du point de vue topologique. Les observations actuelles appuient fortement l'idée d'une courbure spatiale quasi nulle, ce qui n'est pas le cas de la topologie globale. Autrement dit, nous savons avec une grande confiance, que l'espace, à grande échelle, obéit presque exactement à la géométrie euclidienne plate, mais nous ne savons pas encore s'il est infini ou fini (l'espace se recolle sur lui-même) du point de vue topologique. Cette distinction, fondamentale sur le plan conceptuel, reste aujourd'hui ouverte.

En résumé, le caractère quasi plat de l'Univers n'est ni une convention ni une préférence théorique : c'est un résultat observationnel solide, issu de la concordance entre le fond diffus cosmologique, la distribution des galaxies et la dynamique de l'expansion. Mais ce résultat, aussi précis soit-il, laisse intacte une part essentielle du vertige cosmologique : celui de la taille réelle et de la structure globale de l'univers au-delà de l'horizon observable.

L'univers *Big Bang*

L'ancêtre du modèle du *Big Bang* a été proposé par Georges Lemaître avec son hypothèse de l'atome primitif[62]. Ce modèle a gagné en crédibilité avec la découverte du rayonnement fossile par Penzias et Wilson[63], interprété du point de vue cosmologique par Dick et ses collaborateurs[64], fondant la naissance du fond diffus cosmologique en 1965. Toutefois, des alternatives apparaissent : Fred Hoyle, Bondi et Gold[65] défendent le modèle de l'univers stationnaire, éternel et en création continue. Ces visions s'affrontent jusqu'aux années 1970, où les observations du fond diffus cosmologique et de la nucléosynthèse primordiale confirment l'expansion et l'évolution de l'univers. L'univers observable a environ 13,8 milliards d'années.

[62] Lemaître, 1931, 1933.

[63] Penzias et Wilson, 1965.

[64] Dicke, Peebles, Roll et Wilkinson, 1965.

[65] Bondi, Gold et Hoyle, 1948.

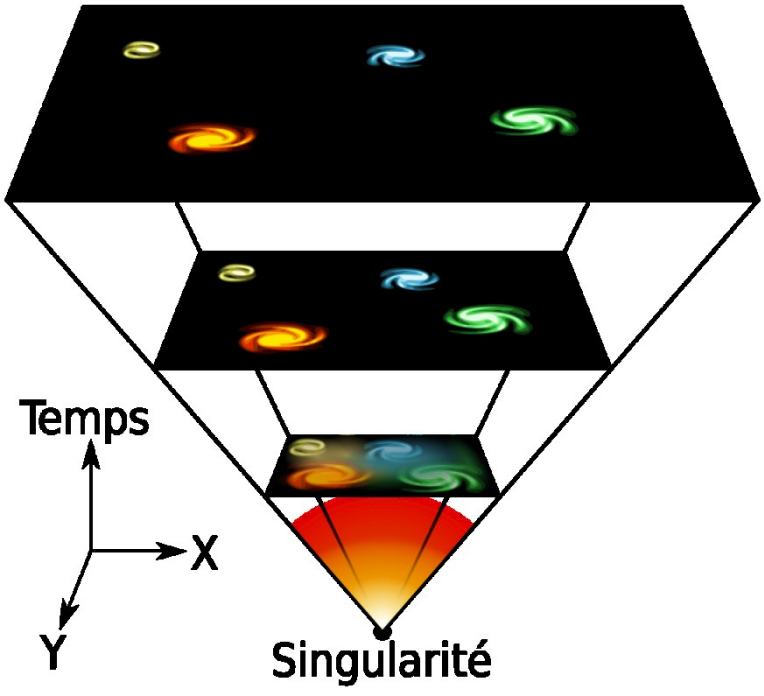

Figure 27 La théorie du *Big Bang* pose que l'Univers actuel a émergé d'un état extrêmement dense et chaud il y a un peu plus de 13,5 milliards d'années, suivi d'une expansion.

Le fait que l'espace soit aujourd'hui mesuré comme quasi euclidien, à grande échelle, ne signifie pas que l'Univers soit statique, ni qu'il ait toujours présenté cette géométrie. Cette quasi-platitude est un état géométrique actuel, constaté sur l'Univers observable, et non une propriété originelle ou intemporelle. Elle doit être comprise dans un cadre dynamique, où la géométrie de l'espace est indissociable de l'histoire de son expansion. Autrement dit, le constat d'un espace presque plat n'est pas un point d'arrivée conceptuel, mais une contrainte forte imposée à tout scénario cosmologique décrivant l'évolution globale de l'Univers.

Dans le cadre cosmologique contemporain, l'Univers est décrit comme issu d'un état initial extrêmement dense et chaud, suivi d'une phase d'expansion continue : c'est ce que l'on désigne par le modèle du *Big Bang*. Il ne s'agit pas d'une explosion dans un espace préexistant, mais de l'expansion même de l'espace, avec la matière et le rayonnement qu'il contient.

À mesure que l'Univers s'étend, il se refroidit, permettant successivement la formation des particules, des noyaux atomiques, puis des atomes, avant l'apparition des premières structures gravitationnelles. Les observations du fond diffus cosmologique, de l'abondance des éléments légers et de l'expansion des galaxies, telle que mesurée, constituent les piliers empiriques de ce modèle.

Dans ce cadre, la quasi-platitude actuelle prend tout son sens : elle apparaît comme le résultat d'une évolution cosmique prolongée, potentiellement amplifiée par une phase d'expansion très rapide dans l'Univers primordial. Le *Big Bang* n'impose donc pas une géométrie particulière *a priori*, mais fournit le cadre dynamique dans lequel la géométrie presque euclidienne, observée aujourd'hui, peut être comprise comme un état naturel. En tout cas, comprendre le *Big Bang* nécessite de quitter la vision d'un développement continue pour passer à la logique d'une succession de seuils physiques, chacun correspondant à un changement de lois effectives.

Au tout début de l'Univers, il n'y a pas encore de « contenu » au sens ordinaire, mais un régime dominé par des champs quantiques à très haute énergie. Les « fluctuations quantiques du vide », amplifiées par l'expansion extrêmement rapide de l'espace, constituent la graine de toutes les structures futures. La phase d'inflation, si elle a bien eu lieu[66], ne crée pas seulement une expansion spectaculaire, elle impose aussi des conditions initiales remarquablement simples : homogénéité quasi parfaite, isotropie globale et très faible courbure spatiale. À ce stade, parler de particules ou de gaz n'a guère de sens : on est dans un régime de champs, pas encore de matière constituée.

[66] La phase dite d'inflation désigne une hypothèse selon laquelle l'Univers primordial aurait connu une période très brève d'expansion extrêmement rapide, antérieure au régime chaud standard du *Big Bang*. Proposée initialement au début des années 1980, notamment par Alan Guth (1981), l'inflation permet d'expliquer naturellement l'homogénéité et l'isotropie observées à grande échelle, la quasi-platitude géométrique de l'espace, ainsi que l'origine des fluctuations de densité primordiales. Elle n'est toutefois pas observée directement : elle est inférée à partir de ses conséquences, et plusieurs modèles inflationnaires coexistent. L'inflation constitue ainsi un cadre théorique puissant et cohérent, largement compatible avec les observations actuelles, sans être à ce jour établie comme un fait empirique direct.

À la sortie de l'inflation, l'Univers entre dans une phase chaude et dense dominée par le rayonnement. Les particules élémentaires apparaissent progressivement, au gré du refroidissement : quarks, leptons (électrons), bosons (photons, gluons, bosons W et Z de l'interaction nucléaire faible, boson de Higgs), puis il y a confinement des quarks en hadrons (protons et neutrons qui vont constituer les noyaux atomiques). C'est une cosmogenèse de la matière au sens strict, gouvernée par la physique des interactions fondamentales. Lorsque l'Univers a quelques secondes d'âge, les neutrinos se découplent. Lorsqu'il a quelques minutes, la nucléosynthèse primordiale produit les noyaux légers (essentiellement l'hydrogène, l'hélium et des traces de lithium). À partir de là, la composition chimique globale de l'Univers est en grande partie figée.

Pendant des centaines de milliers d'années, l'Univers reste opaque. Les photons heurtent sans cesse les électrons libres, et le tout se comporte comme un fluide unique : le plasma photon-baryon (protons et neutrons). C'est dans ce milieu que se développent des oscillations gazodynamiques à l'échelle cosmique. Lorsque l'Univers atteint environ 380 000 ans, son expansion et son refroidissement sont suffisants pour produire une recombinaison : les électrons se lient aux noyaux, des atomes neutres se forment, et les photons sont brutalement libérés, entrainant la transparence de l'univers et l'apparition de la lumière[67]. Le rayonnement fossile est alors émis et commence son long voyage jusqu'à nous, formant le fond diffus cosmologique.

S'ouvre ensuite une période souvent appelée les « âges sombres ». L'Univers est rempli de gaz neutre, sans sources lumineuses astrophysiques (pas d'étoiles, pas de galaxies…), mais il n'est pas inactif. Les fluctuations de densité, héritées des phases précédentes, croissent lentement sous l'effet de la gravitation, dominée par l'hypothétique « matière noire »[68]. Lorsque les premières étoiles s'allument, plusieurs centaines de millions d'années plus tard, elles inaugurent la fin de cette obscurité cosmique. Leur rayonnement ionise progressivement le milieu intergalactique.

[67] Il ne s'agit encore que de micro-ondes, une lumière que nos yeux ne peuvent pas voir.

[68] La matière noire, au moment où nous écrivons ces lignes, reste indéterminée, inconnue, on n'en voit que les effets par un excès de gravitation dans les galaxies et leurs amas.

À partir de là, l'Univers entre dans la formation des galaxies, des amas de galaxies, des planètes, des éléments lourds (comme le carbone, le fer…). L'Univers se structure. L'expansion se poursuit, d'abord freinée par la gravitation. Puis, à une époque relativement récente à l'échelle cosmique, l'expansion est accélérée sous l'effet de l'hypothétique « énergie sombre »[69]. Cette accélération n'est pas une nouvelle « genèse », mais un changement de régime dynamique de l'expansion elle-même.

Il est important de bien comprendre que le *Big Bang* n'est pas un événement ponctuel, mais une histoire continue de transitions physiques, avec, à chaque étape, des lois effectives différentes : champs quantiques, plasma relativiste, gaz atomique, structures gravitationnelles.

EN CONCLUSION

L'exploration des géométries possibles de l'Univers montre que notre compréhension de l'espace cosmique s'est profondément déplacée, depuis une intuition purement qualitative vers une description mathématique précise, mais encore incomplète. Les géométries fermée, plate et ouverte offrent un cadre conceptuel simple pour relier courbure, expansion et destin cosmique, tandis que les géométries dites « étranges » nous rappellent que la courbure locale ne préjuge en rien de la topologie globale.

Les observations contemporaines convergent vers l'image d'un Univers quasi plat, extraordinairement proche de la géométrie euclidienne à grande échelle, sans pour autant trancher la question décisive de sa finitude ou de son infinité. Cette situation souligne une dissociation essentielle entre ce que nous savons mesurer avec une grande précision, la géométrie métrique de l'espace, et ce qui demeure largement indéterminé, sa structure topologique globale.

Inscrite dans le cadre du *Big Bang*, cette géométrie n'est pas un simple décor figé, mais le produit d'une histoire dynamique où expansion, contenu énergétique et conditions initiales sont intimement liés. L'Univers apparaît ainsi moins comme un objet géométrique définitivement classable que comme une structure

[69] L'énergie sombre, au moment où nous écrivons ces lignes, reste indéterminée, inconnue, on n'en voit que les effets par l'expansion accélérée de l'Univers.

dont la forme globale reste, en partie, une question ouverte de la cosmologie contemporaine.

2. Les tailles de l'univers

Nous sommes au début des années 2000. Le télescope spatial Hubble, déjà auréolé d'une réputation presque mythique, tourne silencieusement autour de la Terre, à environ 570 kilomètres d'altitude. Il a déjà bouleversé notre vision du cosmos, mais une poignée d'astronomes nourrit une idée presque déraisonnable. Et si l'on osait faire ce que personne n'avait encore tenté à cette échelle : pointer Hubble vers un coin du ciel apparemment vide, un de ces endroits que les cartes célestes jugent sans intérêt, et s'y obstiner. Longtemps. Très longtemps.

Le pari est vertigineux. Pendant des semaines, puis des mois, le télescope va fixer un minuscule fragment du ciel austral, dans la constellation du Fourneau. À l'œil nu, depuis la Terre, rien. Pas une étoile brillante. Pas une nébuleuse spectaculaire. Un noir presque parfait. Mais ce noir, les astronomes le savent, est trompeur. C'est peut-être là, précisément, que se cache l'histoire la plus profonde de l'Univers.

Entre septembre 2003 et janvier 2004, Hubble accumule patiemment la lumière. Pas un cliché spectaculaire pris sur le vif, non. Des centaines d'expositions, empilées les unes sur les autres, totalisant l'équivalent de près de onze jours d'observation continue. Presque un million de secondes à recueillir des photons partis il y a des milliards d'années, bien avant la formation du Soleil, bien avant la Terre, à une époque où l'Univers n'était encore qu'un adolescent cosmique.

Et puis vient le moment de vérité. Les données sont assemblées. L'image se révèle. Là où l'on s'attendait à un vide, surgit une profusion presque obscène de galaxies. Des milliers. Spirales élégantes, elliptiques rouges et vieillissantes, galaxies chaotiques en pleine enfance, certaines si lointaines que leur lumière a quitté ses étoiles moins d'un milliard d'années après le *Big Bang*. Chaque point lumineux n'est pas une étoile, mais un univers-île entier, peuplé de centaines de milliards de soleils.

Le choc est immense. Ce minuscule fragment du ciel, grand comme un grain de sable tenu à bout de bras, contient à lui seul une fraction significative de l'Univers observable. L'*Ultra-Hubble Deep*

Field[70] ne montre pas seulement des objets lointains, il révèle une profondeur temporelle. Regarder cette image, c'est regarder en arrière, vers les âges sombres, vers l'époque où les premières galaxies s'assemblaient, où l'Univers sortait lentement de sa nuit primitive.

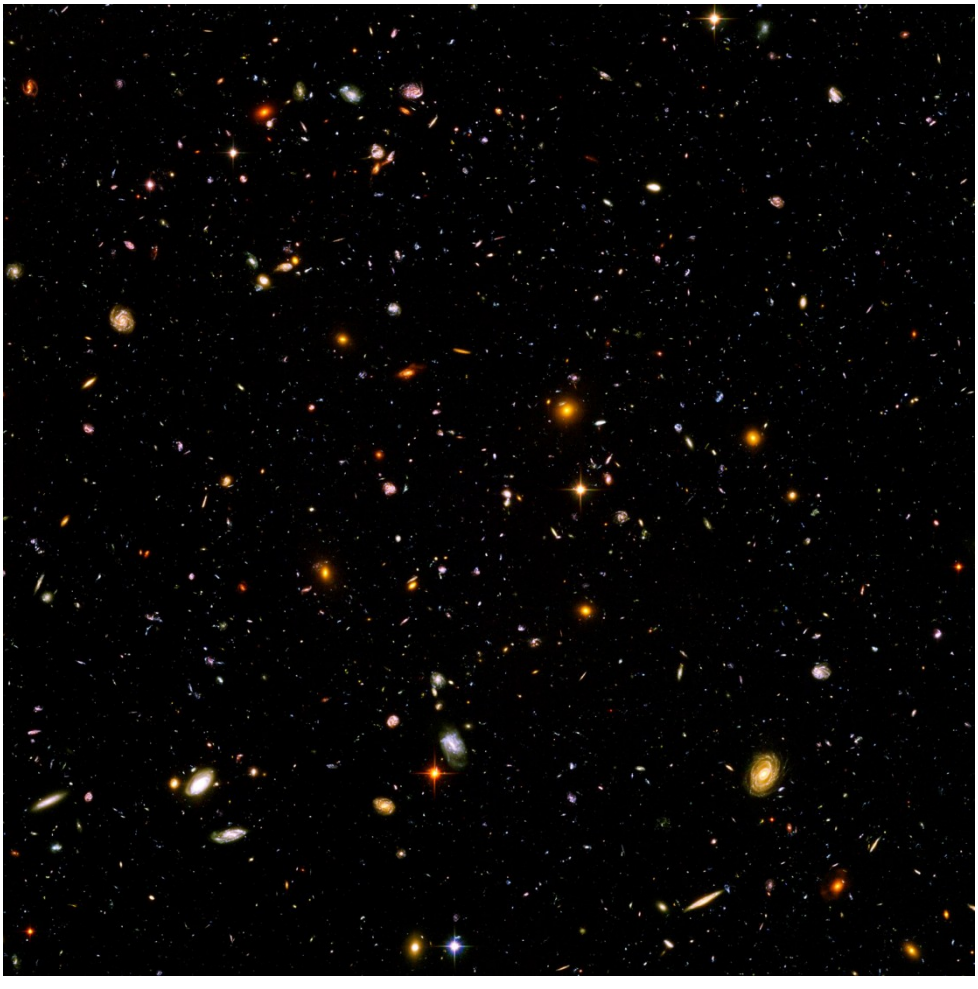

Figure 28 La fameuse image du satellite spatial Hubble contenant approximativement 10 000 galaxies d'âges, de tailles, de formes et de couleurs variés.

[70] L'*Ultra-Hubble Deep Field* fait suite à L'*Hubble Deep Field* de 1995, suivi du *Hubble Deep Field-South* en 1998, pour ne citer que les principaux « champs profonds ».

Mais l'histoire ne s'arrête pas là. Cette image devient une référence absolue. Elle confirme que l'Univers est rempli de galaxies à toutes les époques, que le vide apparent n'est qu'une illusion liée à nos yeux comme à nos instruments. Elle montre aussi que les galaxies jeunes sont petites, irrégulières, souvent en interaction, comme si le cosmos, à ses débuts, expérimentait encore ses propres formes. Cette image impose une idée presque vertigineuse : où que l'on regarde, pour peu qu'on regarde assez longtemps, l'Univers se révèle.

L'*Ultra-Hubble Deep Field* n'est donc pas qu'une prouesse technique. C'est un récit cosmique figé dans une image. Une histoire où la patience humaine rencontre l'immensité du temps, où quelques jours d'observation révèlent treize milliards d'années d'évolution. Une image qui murmure, en silence, que même dans les recoins les plus sombres du ciel, l'Univers n'a jamais cessé de raconter son histoire.

Les images du satellite spatial Hubble, ajoutées à celles du James Webb Space Telescope, de Gaia, de SPHEREx (pour ne retenir que les instruments spatiaux qui explorent le cosmos global), en révélant que le moindre fragment du ciel contient des milliers de galaxies et une profondeur temporelle vertigineuse, agissent comme un seuil conceptuel : à partir de ces images, la question n'est plus seulement de savoir ce que contient l'Univers, mais jusqu'où il s'étend, et comment, au fil de l'histoire, les sociétés humaines ont tenté, de deux cent kilomètres à l'infini, d'en penser et d'en mesurer la taille.

La liste des « tailles de l'Univers » est comme une traversée historique des différentes tailles du monde, en assumant les ordres de grandeur tels qu'ils étaient pensables à chaque époque, même lorsqu'ils étaient faux du point de vue de la cosmologie moderne. L'enjeu n'est pas de corriger rétrospectivement ces conceptions, mais de restituer ce que « l'Univers » a pu concrètement signifier, spatialement, pour celles et ceux qui le pensaient. Autrement dit, il s'agit de suivre l'élargissement progressif de l'horizon cosmique, non comme une simple accumulation de chiffres, mais comme une transformation profonde de la manière humaine d'habiter, de concevoir et de situer le monde.

Cette liste (page suivante) raconte moins une progression linéaire qu'un effondrement successif des frontières : d'un monde à l'échelle du territoire humain à une structure dont la taille, aujourd'hui encore, échappe peut-être définitivement à toute clôture.

EN CONCLUSION

Au terme de cette troisième partie, après le vertige de l'*Ultra-Hubble Deep Field* et l'étagement des tailles de l'Univers, depuis quelques centaines de kilomètres jusqu'à l'infini, une limite s'impose clairement, qui n'est pas celle des instruments, mais celle du savoir lui-même. Nous ne savons pas si l'Univers est fini ou infini. Nous savons seulement que l'Univers observable est fini, par construction, et que toute extrapolation au-delà repose sur des hypothèses cosmologiques. Un Univers peut être fini par son volume et pourtant infini du point de vue topologique, sans bord, sans extérieur, replié sur lui-même selon des géométries que l'intuition ordinaire peine à se représenter. À l'inverse, il peut être spatialement infini, sans que cela ne soit jamais directement testable. Les chiffres, aussi impressionnants soient-ils, n'épuisent donc pas la question qu'ils semblent poser.

Ces incertitudes ne sont pas des faiblesses du modèle cosmologique, mais des points d'appui conceptuels. La question de la taille de l'Univers n'est pas seulement une affaire d'échelle ou de métrique ; elle engage la structure même du réel, sa globalité, et la manière dont nous acceptons ou non l'idée d'un tout clos sur lui-même ou sans limite. En ce sens, parler d'un Univers de tant de milliards de milliards de kilomètres de diamètre n'est jamais qu'une approximation locale, un récit adapté à notre position, inscrit dans un horizon causal restreint.

Ces interrogations prennent un relief particulier dès lors que l'on s'apprête à franchir un pas supplémentaire, celui des multivers. Car envisager une pluralité d'univers impose, tôt ou tard, de faire des choix conceptuels forts. Un multivers de mondes finis ne se pense pas comme un multivers d'univers infinis.

Peut-on faire coexister des univers infinis sans qu'ils se confondent ? Comment des univers finis pourraient-ils se regrouper, se juxtaposer, former des structures d'ordre supérieur, voire interagir ou s'influencer ? Ces questions ne réclament pas encore de réponses définitives, mais elles exigent un cadre. C'est ce cadre qu'il faudra commencer à construire, en acceptant qu'entre le fini et l'infini, entre l'unique et le multiple, se joue désormais une part essentielle de la cosmologie contemporaine.

LES TAILLES DE L'UNIVERS

Cosmologies autochtones **200 km** (200 kilomètres)
Cosmologie grecque archaïque et classique **400 000 000 km** (400 millions de kilomètres)
Cosmologie ptolémaïque (Antiquité tardive) **400 000 000 à 800 000 000 km** (400 à 800 millions de kilomètres)
Cosmologie médiévale chrétienne **1 200 000 000 km** (1,2 milliards de kilomètres)
Copernic (16e siècle) **40 000 000 000 km** (40 milliards de kilomètres)
Kepler (début 17e siècle) **200 000 000 000 km** (200 milliards de kilomètres)
Galilée (Univers stellaire ouvert) **2 000 000 000 000 km** (2 000 milliards de kilomètres)
Newton (Univers potentiellement infini, minimum observable) **200 000 000 000 000 km** (200 mille milliards de kilomètres)
Avant 1920–1930 (Univers galactique) **2 000 000 000 000 000 000 km** (2 millions de milliards de kilomètres)
Années 1920–1930 (Univers extragalactique) **200 000 000 000 000 000 000 km** (200 millions de milliards de milliards de kilomètres)
Cosmologie moderne (Univers observable) **870 000 000 000 000 000 000 000 km** (870 milliards de milliards de kilomètres)
Univers total (borne minimale actuelle) **≥ 87 000 000 000 000 000 000 000 000 km** (87 mille milliards de milliards de kilomètres) **∞** (infini)

Quatrième partie

LES MULTIVERS

1. L'univers-bloc

Avant de s'engager sur la voie des multivers, le but de cette section consacrée à l'univers-bloc est de préciser de manière concrète et physique ce que pourrait être une « unité » élémentaire de structure d'un multivers, autrement dit ce que l'on nomme un univers. Il s'agit de le considérer comme une entité à part entière, indissociablement spatiale et temporelle, définie, cernée, dotée d'une forme de clôture, même si cette clôture n'implique pas nécessairement une fin au sens intuitif du terme et peut laisser place à un infini topologique, sans bord ni extérieur. L'enjeu n'est donc pas seulement de parler d'étendue ou de durée, mais de saisir un tout cohérent, un bloc d'espace-temps.

Dans cette perspective s'impose naturellement le concept d'univers-bloc, issu de l'espace-temps relativiste, que l'on ne peut plus éluder dès lors que l'on prend au sérieux les implications de la relativité. Il faudra accepter de se le représenter, même de façon imparfaite, et d'en assumer les conséquences philosophiques et métaphysiques, notamment la tension qu'il introduit entre présentisme et éternalisme. Selon ce dernier, l'univers-bloc n'est plus une scène où le temps s'écoule, mais une totalité où passé, présent et futur coexistent comme des régions différentes d'une même structure.

Enfin, l'objectif sera de parvenir à une définition de l'univers-bloc qui ne soit ni purement spéculative ni exclusivement philosophique, mais à la fois ontologique et physique, inscrite dans une perspective astronomique et astrophysique. C'est à cette condition que l'univers-bloc pourra jouer son rôle de brique conceptuelle élémentaire, préalable indispensable à toute réflexion rigoureuse sur les multivers.

L'espace-temps relativiste

Dès le 20e siècle la physique moderne a reconstruit la notion même d'espace et de temps. Avec la relativité restreinte, Albert Einstein[71] opère une rupture décisive : l'espace et le temps ne sont

[71] Einstein, 1905, 1915, 1963. Einstein, Infeld, 1983.

plus deux entités indépendantes, universelles et absolues, mais les composantes d'une seule structure unifiée, l'espace-temps. Les événements ne sont plus situés « dans l'espace à un instant donné », mais décrits par leurs coordonnées dans un continuum à quatre dimensions, où les mesures de distance et de durée dépendent de l'état de mouvement de l'observateur. Il n'existe plus de simultanéité absolue : ce qui est présent pour un observateur peut appartenir au passé ou au futur pour un autre. Cette relativité de la simultanéité est déjà, en germe, une remise en cause profonde de l'idée d'un présent universel qui s'écoulerait identiquement pour tous.

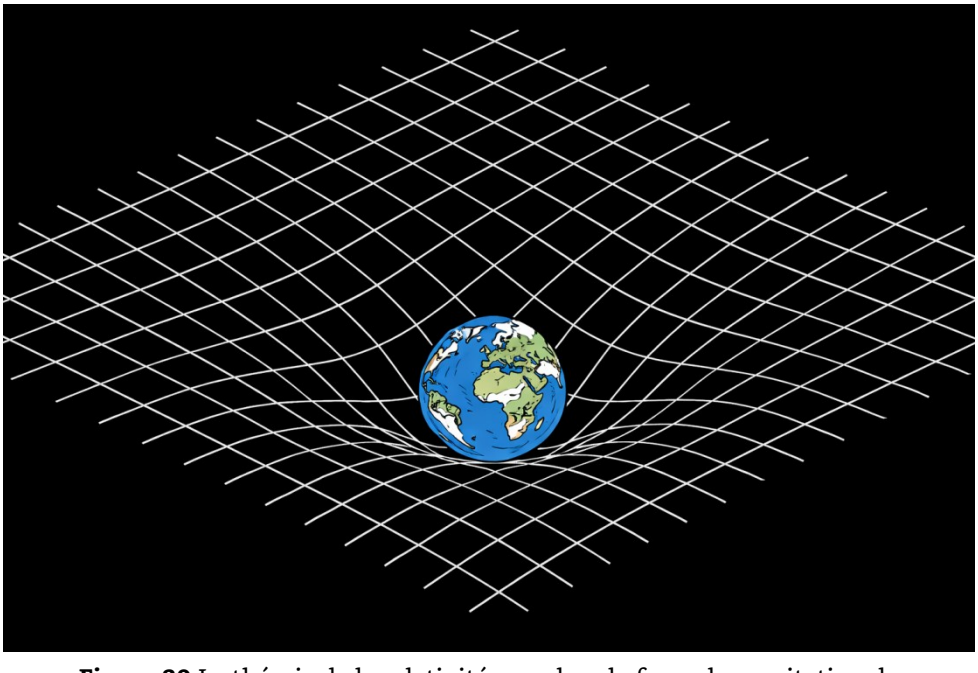

Figure 29 La théorie de la relativité remplace la force de gravitation de Newton par une courbure de l'espace-temps, le long de laquelle les corps suivent des géodésiques dans leur mouvement.

La relativité générale étend cette unification en y intégrant la gravitation. L'espace-temps n'est plus un simple cadre passif dans lequel les événements se déroulent, mais il devient une entité dynamique, dont la géométrie est façonnée par la matière et l'énergie. Les trajectoires des corps ne sont plus des mouvements dans un espace donné, mais des géodésiques de l'espace-temps lui-même. Ce point est crucial : l'histoire de l'Univers n'est pas une suite d'états successifs ajoutés les uns aux autres, mais une structure

globale où chaque événement possède une place définie dans la géométrie totale. Dans ce cadre, parler d'un « devenir » global de l'Univers n'a plus de sens fondamental ; seule subsiste la variation du temps propre le long de lignes d'univers.

Il est intéressant de noter que cette vision géométrique ne surgit pas *ex nihilo* avec Einstein. Déjà, chez Isaac Newton, l'espace et le temps forment un cadre à quatre paramètres dans lequel les trajectoires des corps sont entièrement déterminées par les lois du mouvement. Certes, l'espace et le temps y sont absolus et séparés, mais l'idée essentielle est déjà là : si l'on connaît les conditions initiales et les lois, l'ensemble de l'histoire du système est, en principe, donné tout entier. On peut ainsi reconstruire une trajectoire complète dans un espace-temps newtonien, même si celui-ci n'est pas encore géométrisé au sens relativiste. De ce point de vue, le germe conceptuel de l'univers-bloc est déjà présent dans le déterminisme classique.

Ce que la relativité change, ce n'est donc pas seulement la métrique ou la dynamique, mais le statut ontologique du temps. En unifiant espace et temps dans une structure géométrique unique, la relativité rend naturelle l'idée que passé, présent et futur ne sont pas des réalités qui apparaissent ou disparaissent, mais des régions distinctes d'un même espace-temps. L'univers-bloc ne constitue pas une interprétation marginale ou métaphysique ajoutée après coup : il est la lecture la plus directe de ce que signifie, physiquement, un espace-temps relativiste. C'est sur cette base que le concept d'univers-bloc prend tout son sens.

Se représenter l'Univers-bloc

Si, selon la relativité, l'Univers-bloc est une incontestable réalité physique, il pose le problème de sa représentation concrète, géométrique. Il s'agit d'un objet à quatre dimensions réelles, trois d'espace et une de temps, et non d'un espace ordinaire « auquel il arriverait des choses ». Or notre système perceptif et nos outils cérébraux de visualisation sont irrémédiablement tridimensionnels. Ainsi, toute tentative de représentation impose une réduction du nombre de dimensions.

La réduction la plus courante consiste à sacrifier une dimension spatiale, pour faire apparaître le temps comme un axe explicite, ce

qui conduit aux diagrammes d'espace-temps de type Minkowski[72], où un objet n'est plus représenté par son unique position, mais par une ligne d'univers correspondant à l'ensemble de son existence spatio-temporelle.[73]

Cependant, cette opération est déjà une trahison visuelle : l'univers-bloc réel n'est ni une pile d'instantanés, ni un empilement de tranches spatiales successives, ni un volume figé parcouru par un observateur, c'est un tout géométrique dont aucune coupe tridimensionnelle ne restitue la totalité. La difficulté n'est donc pas seulement de « penser » l'univers-bloc, mais de constater qu'il n'existe pas, en toute rigueur, d'image fidèle possible de ce qu'est physiquement un espace-temps à quatre dimensions. On est donc contraint d'utiliser le subterfuge de la représentation en deux dimensions spatiales étirées dans la dimension temporelle, selon deux procédés que nous pourrions poétiquement appeler la représentation « orchestrale » et la représentation « boulangère » (qui sont très similaires).

Dans la représentation « orchestrale », l'univers-bloc est figuré sous la forme d'un volume évasé, analogue aux trompettes droites de l'Antiquité, aux trompes angéliques. L'embouchure étroite correspond à l'instant initial, le *Big Bang*, où l'ensemble de l'espace-temps est concentré dans une région extrêmement dense et chaude (juste avant on indique souvent la « singularité » initiale, cet « atome primitif » de Georges Lemaître, dont la taille est de nos jours située approximativement entre une unité de Planck – $1{,}616 \times 10^{-35}$ mètre, ne durant que $5{,}391 \times 10^{-44}$ seconde – et l'infiniment petit et bref). À mesure que l'on progresse le long de l'axe temporel, le volume spatial s'élargit, traduisant l'expansion de l'Univers, puis son évasement de plus en plus marqué rend perceptible l'expansion accélérée. Le temps n'est donc plus pensé comme une succession d'instants vécus, mais comme une dimension le long de laquelle l'Univers est déployé tout entier, du passé le plus lointain vers un futur indéterminé, mais déjà inclus dans la géométrie globale du bloc.

[72] Minkowski, 1908.

[73] À noter que Minkowski, à ce moment-là, ne prend en compte que la relativité restreinte (sans la gravitation), comme cas spécial de la relativité générale.

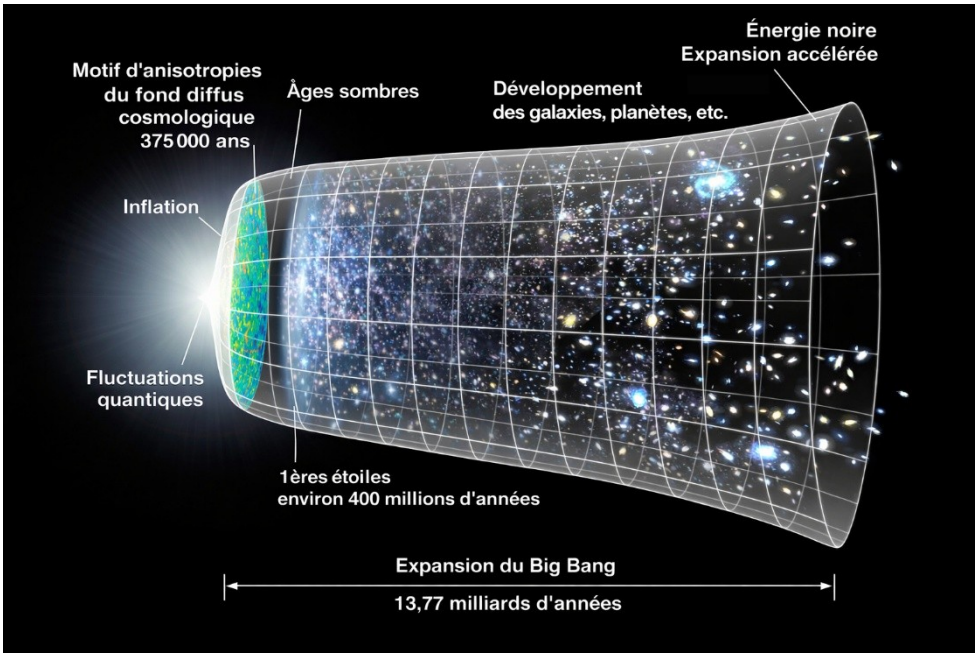

Figure 30 Représentation de l'univers-bloc dans sa version orchestrale en forme de cornet de trompette, qui permet de situer les différentes étapes de son développement depuis le *Big Bang*.

Cette représentation a l'avantage de rendre visuellement accessibles, en un seul objet continu, les grandes phases de l'histoire cosmique : époque primordiale, nucléosynthèse, découplage du rayonnement, possible inflation, formation des grandes structures, domination progressive de l'hypothétique énergie sombre. Ces phases ne sont plus des événements qui « arrivent », mais des régions distinctes du bloc espace-temps, comme des balises placées en différents points géométriques.

La représentation « boulangère » repose sur une image très proche dans son principe, mais conceptuellement plus féconde dès qu'il s'agit de penser le découpage de l'univers-bloc. Le bloc d'espace-temps y est figuré comme une miche de pain allongée, dont la longueur correspond à la dimension temporelle et dont les sections transversales représentent des espaces à un instant donné. Cette image permet de visualiser immédiatement que le bloc n'est pas seulement un volume global, mais un objet susceptible d'être « tranché » selon différents plans, sans que ces découpes aient de statut ontologique privilégié. Une tranche strictement perpendiculaire à l'axe temporel correspond à l'idée intuitive d'un

présent global, homogène, partagé par tous les observateurs, mais cette coupe n'a de sens que dans un cadre newtonien implicite, déjà invalidé par la relativité.

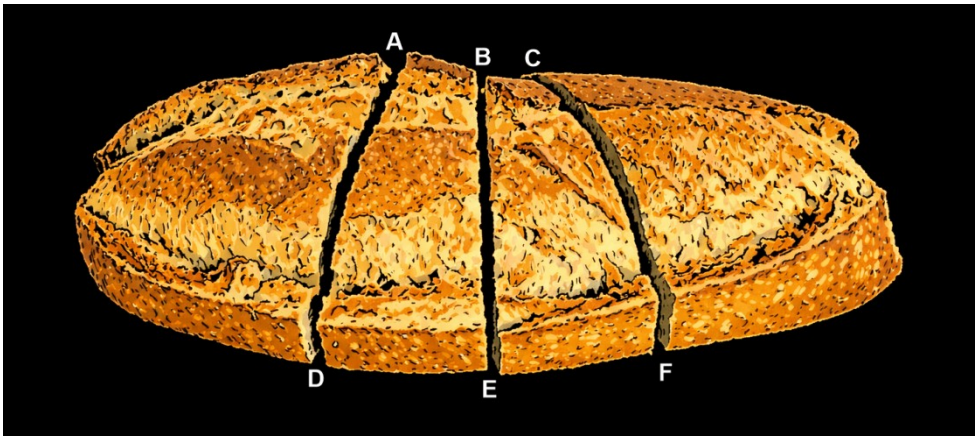

Figure 31 Représentation de l'univers-bloc dans sa version boulangère en forme de miche de pain, qui permet de visualiser les effets du découpage orienté selon les mouvements d'un corps par rapport à un autre : vers le passé (A-D, vers la gauche), lorsque les corps s'éloignent ou vers le futur (C-F, vers la droite), lorsqu'ils se rapprochent. Ce qui explique que les temps propres des corps sont différents. La position centrale (B-E), qui correspond à une absence de mouvement relatif des corps, donc à une simultanéité des temps, est purement théorique, car dans l'univers, tout est toujours en mouvement.

Car l'intérêt décisif de la miche apparaît lorsque l'on incline la tranche. Une coupe oblique à travers le bloc correspond à une hypersurface de simultanéité propre à un observateur en mouvement, et plus généralement à un référentiel donné. Selon son orientation, la tranche inclut des régions que d'autres observateurs qualifieraient de passées ou futures.

Pour un super-voyageur capable de parcourir l'espace-temps sans contrainte relativiste, ces découpages différents conduisent à des « présents » radicalement distincts, sans contradiction physique, mais avec des conséquences profondes sur la causalité apparente et l'ordre des événements. La représentation boulangère rend ainsi immédiatement visible le caractère relatif de la simultanéité et dissout l'illusion d'un feuilletage naturel de l'Univers. Le bloc ne se décompose pas en couches temporelles objectives ; ce sont les

observateurs qui imposent leurs plans de coupe, et donc leur lecture partielle du tout quadridimensionnel.

Il est important de bien retenir que, par convention graphique, la tranche découpée dans la miche est représentée comme bidimensionnelle, afin de rester graphiquement « représentable ». Cette bidimensionnalité est donc purement conventionnelle. Il faut constamment garder à l'esprit que chaque tranche correspond en réalité à un espace tridimensionnel complet, et qu'il est possible, par un effort d'imagination contrôlé, de s'y immerger comme dans un volume ordinaire. La tranche devient alors un fragment instantané du bloc d'espace-temps, non pas un instant qui « passe », mais une région tridimensionnelle entière, figée dans le quadridimensionnel. On peut ainsi concevoir cette coupe comme un flash de l'Univers en trois dimensions, un état spatial total extrait du bloc (par exemple, une sphère de 880 000 milliards de milliards de kilomètres si l'on se borne à l'Univers observable), sans privilège ontologique particulier, et sans que cela implique un présent objectif. Cette immersion mentale permet de comprendre que ce que nous appelons l'Univers, à un instant donné, n'est rien d'autre qu'une section arbitraire du bloc, rendue familière parce qu'elle correspond à la manière dont notre conscience parcourt et reconstruit l'espace-temps.

Le présentisme

Le présentisme et l'éternalisme constituent deux cadres métaphysiques opposés en rapport avec le concept d'univers-bloc. Ces deux positions ne sont pas des théories physiques, mais des interprétations ontologiques[74] du temps, c'est-à-dire des réponses à la question de ce qui existe réellement dans le temps.

Le présentisme constitue une position ontologique selon laquelle n'existe réellement que ce qui est présent. Le passé n'existe plus et le futur n'existe pas encore. L'existence est ainsi strictement indexée à l'instant présent, seul lieu où le réel est pleinement donné.

Dans cette perspective, le monde se déploie uniquement dans un espace à trois dimensions qui évolue en continu. Les faits à venir n'existent pas à l'avance. Ils adviennent progressivement à mesure

[74] L'ontologie est une branche de la philosophie et plus spécifiquement de la métaphysique qui, dans son sens le plus général, cherche à définir ce qu'est l'Être, indépendamment de ses déterminations particulières.

que le temps s'écoule, produisant sans cesse de nouvelles configurations du monde. Ces configurations ne s'additionnent pas pour former un espace-temps préexistant. En tant que totalité quadridimensionnelle, l'espace-temps n'existe pas. Les états passés du monde ne subsistent pas davantage. Seul le monde tel qu'il est maintenant possède une réalité ontologique.

Le passé et le futur ne disposent donc, au mieux, que d'une existence conceptuelle (les souvenirs du passé en mémoire, avec les déformations que l'on connaît et les imaginations du futur, tout aussi incertaines, entre probabilité et illusion). Le passé et le futur sont donc des constructions mentales, des représentations de ce qui a été ou de ce qui sera, mais non des régions du réel dotées d'une existence propre.

Le présentiste ne se conçoit lui-même que dans l'instant présent, dans cette frontière sans épaisseur qui sépare ce qui n'est plus de ce qui n'est pas encore. L'image classique associée à cette conception du temps remonte à Héraclite, avec l'analogie du fleuve : l'eau qui s'écoule est sans cesse renouvelée, tandis que le spectateur ou le baigneur demeure, en apparence, au même endroit, incapable de retrouver deux fois la même réalité.

Dans une perspective présentiste, le libre arbitre trouve un terrain intuitivement favorable. Si seul le présent existe réellement, si le passé n'est plus et si le futur n'est pas encore, alors l'instant présent devient le lieu ontologiquement privilégié de la décision. Le choix n'y est pas simplement vécu comme tel, il est pensé comme effectivement ouvert, non fixé, non inscrit ailleurs que dans l'acte même de décider. Le futur n'étant pas encore réel, il ne peut contenir à l'avance la trace de ce qui va être choisi ; le libre arbitre s'y déploie comme une véritable indétermination ontologique.

Cette position confère à la conscience un rôle central, presque fondateur. Le sujet n'est pas un simple point de passage dans une structure déjà donnée, mais un agent qui contribue à faire advenir le réel. Le présent n'est pas seulement un repère psychologique, il est le seul plan d'existence, et c'est précisément cette exclusivité qui rend possible l'idée d'une causalité ouverte vers l'avenir. Le libre arbitre n'est alors pas une illusion produite par une ignorance locale, mais une propriété du monde lui-même, liée à l'incomplétude du réel à chaque instant.

En contrepartie, ce lien étroit entre présentisme et libre arbitre impose un coût théorique élevé. Il devient difficile d'articuler cette vision avec les descriptions physiques du temps issues de la relativité, où le présent perd son caractère universel et absolu. Le présentisme protège le libre arbitre en l'ancrant dans une ontologie du devenir, mais au prix d'une tension persistante avec l'espace-temps relativiste, qui suggère au contraire une coexistence globale des événements. À cette tension s'en ajoute une autre, tout aussi structurante, avec le déterminisme qui traverse l'ensemble des sciences : dans un monde où les causes et les effets s'enchaînent selon des lois, l'idée d'un choix véritablement ouvert devient difficile à soutenir. Le libre arbitre y gagne en évidence phénoménologique ce qu'il perd en confort cosmologique et en cohérence scientifique.

Historiquement, la position présentiste a été défendue et justifiée par Duns Scot [75], puis par Thomas Hobbes [76]. À l'époque contemporaine, elle est notamment soutenue par des auteurs comme Arthur Prior[77] et Ned Markosian[78].

L'éternalisme

Selon la conception éternaliste, le temps existe dans sa globalité et forme ce que les physiciens décrivent comme un univers-bloc. Tous les événements y possèdent le même statut ontologique. Il n'existe pas de réalité « présente » qui se renouvellerait sans cesse, mais une réalité totale et intemporelle, déjà entièrement donnée. Cette réalité

[75] Scot, vers 1290-1300. C'est dans l'*Ordinatio*, notamment au livre I, distinction 39, que Duns Scot discute la question du présent, de l'existence et du statut de ce qui n'est plus ou pas encore, dans le cadre de sa métaphysique de l'être et de la temporalité.

[76] Hobbes, 1655. Dans son *De Corpore*, Thomas Hobbes développe une conception matérialiste du monde et du temps, où seul l'existant actuel possède une réalité pleine, le passé et le futur relevant de constructions de l'esprit à partir du mouvement et de la mémoire.

[77] Prior, 1967. Dans cet ouvrage fondamental, Arthur Prior élabore la « logique temporelle » et défend explicitement une forme sophistiquée de présentisme, en opposition aux conceptions atemporelles du temps issues de la relativité.

[78] Markosian, 2004. Dans cet article de référence, Ned Markosian propose une défense systématique du présentisme, face aux objections contemporaines, notamment celles issues de la relativité et de l'éternalisme.

ne se révèle cependant aux observateurs que de manière progressive et partielle. Nous ne la découvrons qu'au fil de notre propre évolution, évolution que la conception newtonienne assimile au temps lui-même.

Dans ce cadre, l'existence ne se limite pas au présent, mais s'étend à l'ensemble du parcours d'existence. Tout événement qui se produit, qui s'est produit ou qui se produira, existe également, indépendamment du fait que nous en ayons connaissance ou non. L'ignorance, la mémoire ou l'anticipation ne modifient en rien le statut ontologique de ces événements : ils existent de la même manière dans la structure globale de l'espace-temps.

L'éternaliste conçoit ainsi son existence comme une histoire complète, une totalité continue allant de la naissance à la mort. La conscience ne crée pas le temps, elle le parcourt. La succession des états de conscience produit l'impression d'un écoulement temporel, mais cet écoulement ne correspond à aucune réalité objective. Qu'il s'agisse du temps universel de la physique newtonienne ou du temps propre de la physique relativiste, le « passage du temps » n'est pas une propriété fondamentale du monde, mais une modalité de notre rapport à l'espace-temps. L'éternalisme est l'Univers-bloc illusoirement vécu à la mode présentiste.

Cette conception trouve un précurseur antique chez Parménide[79], pour qui l'être est un, immobile et éternel, toute apparence de devenir relevant de l'illusion. À notre époque, des philosophes comme Bertrand Russell[80], John Jamieson Carswell Smart[81], Willard Van Orman Quine[82], Adolf Grünbaum[83] et Paul Horwich[84] ont

[79] Parménide, début du 5e siècle av. J.-C. Dans le fragment 8 Parménide expose la thèse de l'être un, immobile, éternel, ni engendré ni périssable, et fonde l'opposition radicale entre l'être et l'illusion du devenir.

[80] Russell, 1915. Dans ce texte central, Bertrand Russell défend une conception atemporelle du temps, distinguant l'ordre des événements de l'expérience psychologique du passage du temps.

[81] Smart, 1949. Un article classique où Jamieson Carswell Smart critique l'idée d'un écoulement objectif du temps et soutient une conception atemporelle compatible avec l'éternalisme.

[82] Quine, 1960. Bien qu'il ne soit pas consacré exclusivement au temps, cet ouvrage de Willard Van Orman Quine expose une ontologie naturaliste et atemporelle, dans laquelle les distinctions temporelles relèvent du langage et de la théorie, non d'un devenir objectif.

défendu, sous des formes diverses, des conceptions atemporelles du temps étroitement compatibles avec l'éternalisme et avec la vision de l'univers-bloc.

Cette opposition entre présentisme et éternalisme ne clôt toutefois pas le débat, car certains philosophes, comme John Ellis McTaggart, ont soutenu une thèse plus radicale encore, mettant en cause la réalité même du temps. L'approche de McTaggart[85] n'est pas de défendre l'éternalisme contre le présentisme, mais plus radicalement de montrer que le temps, en tant que tel, est irréel. Pour ce faire, il distingue deux manières fondamentales d'ordonner les événements : la *série A* (passé, présent, futur) et la *série B* (antériorité, postériorité, simultanéité).

La *série A* correspond clairement à une vision présentiste ou du moins temporelle du temps, puisqu'elle repose sur un présent mobile. McTaggart tente de montrer que cette série est contradictoire, parce que pour qu'un événement soit successivement futur, présent puis passé, il faut lui attribuer des propriétés incompatibles, ce qui conduit soit à une contradiction logique, soit à une régression à l'infini (pour expliquer la succession des propriétés temporelles d'un événement, il faut introduire un second ordre temporel chargé d'expliquer ce changement, lequel appelle à son tour un troisième ordre, et ainsi de suite, sans qu'aucune explication ultime ne soit jamais atteinte). De ce point de vue, l'attaque de McTaggart contre le présentisme est systématique et, à ses yeux, décisive.

Cependant, McTaggart ne se réfugie pas pour autant dans l'éternalisme au sens moderne. Certes, la *série B*, dépourvue de présent privilégié, évite les contradictions de la *série A* et ressemble fortement à ce que les physiciens et philosophes contemporains associeront plus tard à l'univers-bloc. Mais McTaggart estime que la

---

[83] Grünbaum, 1973. Il s'agit d'un ouvrage de référence sur l'espace et le temps en physique, où Adolf Grünbaum défend explicitement une interprétation éternaliste et critique toute notion de passage objectif du temps.

[84] Horwich, 1987. Il s'agit d'un livre majeur de Paul Horwich, analysant les asymétries temporelles, sans recourir à un flux du temps, et proposant une lecture pleinement compatible avec l'éternalisme et l'univers-bloc.

[85] McTaggart, 1908.

série B, à elle seule, est insuffisante pour rendre compte du changement réel. Or, pour lui, un temps sans changement authentique ne mérite pas le nom de temps. La *série B* décrit un ordre, mais pas un devenir. C'est précisément sur ce point qu'il refuse implicitement l'éternalisme, non parce qu'il serait incohérent, mais parce qu'il serait ontologiquement trop pauvre pour fonder une temporalité réelle.

Il en résulte une position singulière et profondément déstabilisante. McTaggart rejette le présentisme parce qu'il est contradictoire et rejette toute conception d'éternalisme atemporel, parce qu'elle échoue à rendre compte du changement. Le philosophe en conclut que le temps lui-même est irréel.

McTaggart n'explicite jamais une alternative positive pleinement développée, ce qui s'explique en grande partie par son idéalisme métaphysique. Pour McTaggart, la réalité ultime est atemporelle, structurée par des relations logiques et spirituelles qui excèdent aussi bien le présentisme que l'éternalisme. De ce point de vue, son silence apparent sur une adhésion explicite à l'éternalisme n'est pas une lacune accidentelle, mais la conséquence directe de son projet philosophique. Face à un éternalisme illusoirement vécu à la mode présentiste, ce n'est pas l'éternalisme qui échoue à rendre compte du changement, mais McTaggart lui-même, son « irréalité du temps » signant l'aveu même de cet échec. Ce n'est pas le temps comme quatrième dimension dans l'univers-bloc qui n'existe pas, c'est McTaggart et son incapacité à comprendre sa propre vacuité.

La conception éternaliste du temps s'impose aujourd'hui comme le cadre le plus compatible avec la physique contemporaine, en particulier avec la relativité et ses prolongements conceptuels. Sans constituer un dogme explicite, elle sous-tend nombre de réflexions théoriques allant jusqu'à envisager, chez des physiciens comme Stephen Hawking[86], Igor Novikov[87] ou Kip Thorne[88], la possibilité du

[86] Hawking, 1992. L'article célèbre où Stephen Hawking discute explicitement la possibilité du voyage dans le temps via des courbes temporelles fermées et propose le *principe de protection de la chronologie* (hypothèse *ad hoc* selon laquelle les lois de la physique empêchent la formation de courbes temporelles fermées permettant des voyages vers le passé, afin de préserver la cohérence causale et d'éviter les paradoxes temporels).

[87] Novikov, 1989. Ouvrage dans lequel Igor Novikov introduit et développe

voyage dans le temps et, corrélativement, l'existence de structures multiverselles associées.

Dans cette perspective à quatre dimensions, les individus ne sont plus conçus comme des entités strictement présentes, mais comme des êtres étendus dans le temps, des « vers spatio-temporels »[89], comme le dit David Lewis[90], dont chaque instant vécu n'est qu'une phase parmi d'autres. L'identité personnelle ne réside alors ni dans un présent privilégié ni dans un flux objectif du temps, mais dans la continuité et la connectivité des phases qui composent une existence entière, déjà inscrite dans la structure globale de l'univers-bloc.

Réduire l'univers-bloc à une simple possibilité de « voyages dans le temps » revient sans doute à déplacer le problème plutôt qu'à l'affronter. Cette focalisation, un peu sensationnaliste (on pense irrésistiblement à la littérature de Science-Fiction), masque les enjeux essentiels, bien plus profonds, que l'univers-bloc révèle. Tout d'abord l'enjeu de la conscience, et en particulier de l'expérience subjective d'un écoulement, ainsi que l'enjeu du libre arbitre, dans un cadre où l'avenir est déjà inscrit dans la structure globale de l'espace-temps, y compris notre cerveau et son fonctionnement le plus fin. Si tous les événements existent également, alors la question n'est plus de savoir si l'on peut voyager dans le temps, mais comment une conscience localisée en vient à se représenter un futur ouvert, à faire des choix et à se percevoir comme cause de ses actes.

Dans une perspective éternaliste, le libre arbitre se trouve immédiatement fragilisé, du moins dans son acception la plus intuitive. Si passé, présent et futur existent également au sein d'un univers-bloc, alors les événements futurs sont déjà là, inscrits dans la structure globale de l'espace-temps. Le choix semble dès lors perdre son statut de possibilité ouverte pour devenir un fait local parmi d'autres, situé sur une ligne d'univers déjà entièrement donnée. Le

---

le principe d'auto-cohérence appliqué aux courbes temporelles fermées, dans un cadre pleinement relativiste et éternaliste.

[88] Thorne, 1994. Dans ce livre de référence, Kip Thorne examine en détail les solutions relativistes autorisant des voyages temporels (trous de ver, courbes temporelles fermées) et leurs implications ontologiques.

[89] Pour une belle illustration de « vers spatio-temporels », voir Tegmark, 2014, p. 365.

[90] Lewis, 2015.

sentiment de décider librement apparaît alors comme une expérience interne, réelle sur le plan psychologique, mais qui ne correspond plus à une indétermination ontologique. D'autant que cette « expérience interne », elle-même, comme produit de notre cerveau, est elle aussi inscrite dans le futur de la trame spatio-temporelle, transformant le sentiment de choix en une illusion permanente. Le drapeau : « Regardez ! Je suis libre ! Regardez comme j'ondule, me contorsionne de par ma propre volonté ! Regardez, je fais ce que je veux ! » dit-il, agité par le vent.

Pour autant, l'éternalisme n'implique pas nécessairement un déterminisme naïf ni une négation pure et simple du libre arbitre. Une reformulation est possible, au prix d'un déplacement conceptuel. Le libre arbitre n'y est plus compris comme la capacité de faire advenir plusieurs futurs possibles à partir d'un présent privilégié, mais comme la cohérence interne entre les états mentaux d'un agent, ses raisons, ses désirs, ses croyances, et les actions qui se déploient le long de sa ligne d'univers. Le choix est réel en tant que processus causal local, même s'il est déjà inclus dans la totalité de l'univers-bloc.

Dans ce cadre, la liberté ne réside plus dans l'ouverture du futur, mais dans l'absence de contrainte externe à l'agent. L'action est libre si elle procède de l'agent lui-même, même si l'on admet que, vu « de l'extérieur » du bloc, elle est déjà déterminée. Le point de vue interne et le point de vue global ne se contredisent pas, ils décrivent deux niveaux distincts. Le libre arbitre devient alors compatible avec l'éternalisme à condition d'abandonner l'idée que la liberté exige une indétermination fondamentale du futur, et d'accepter qu'elle puisse s'inscrire dans une structure déjà entièrement donnée. Autrement dit, l'Univers-bloc est l'éternalisme illusoirement vécu à la mode présentiste.

Aussi bien, toujours dans cette perspective, le libre arbitre apparaît n'être que la première d'une série d'illusions générées par notre immersion locale dans le bloc, aux côtés d'autres fantasmagories existentielles, comme la conscience, le moi, le temps qui s'écoule, l'espace comme contenant, la causalité linéaire, le mouvement, l'énergie, les forces, les champs ou même les lois de la nature telles que nous les formulons.

L'univers-bloc n'en demeure pas moins une réalité physique, issue directement de la relativité, et à ce titre difficilement contestable. Il

ne résout rien par lui-même, mais il impose un cadre dans lequel certaines intuitions fondamentales doivent être repensées, au prix de tensions conceptuelles considérables, mais inévitables.

Une ontologie physique de l'Univers-bloc

Cette section s'ouvre sur une clarification de nature ontologique. Il ne s'agit pas ici de décrire la manière dont nous connaissons l'Univers-bloc, ni les instruments, modèles ou procédures par lesquels nous le mesurons, mais de formuler ce que l'Univers-bloc est, au sens le plus direct que la physique autorise. Une description cosmologique de l'Univers-bloc peut être dite ontologique dès lors qu'elle ne se contente pas d'aligner des équations ou des dispositifs opératoires, mais qu'elle affirme un mode d'existence de l'espace-temps lui-même. Par définition, l'Univers y est envisagé comme une totalité quadridimensionnelle donnée, au sein de laquelle les événements passés, présents et futurs coexistent comme des régions distinctes d'une même structure globale.

Il ne s'agit en aucun cas d'introduire une ontologie métaphysique détachée de la physique, ni de surplomber les théories par des catégories étrangères à leur contenu. L'ontologie dont il est question ici est informée par la cosmologie relativiste elle-même. Elle émerge de ce que le formalisme, les principes de la relativité et les observations cosmologiques rendent dicible à propos de l'être de l'Univers. En ce sens, elle ne précède pas la physique, elle en est une conséquence interprétative maîtrisée.

Parler d'une « ontologie physique de l'Univers-bloc » est donc non seulement acceptable, mais conceptuellement rigoureux, à condition de maintenir explicitement ce point d'ancrage : la physique. Il s'agit de décrire l'Univers tel que la cosmologie relativiste permet de le penser comme totalité, et non de projeter sur lui une spéculation abstraite. L'ontologie ici proposée ne s'ajoute pas à la cosmologie ; elle en explicite la portée ontologique minimale, nécessaire dès lors que l'on prend au sérieux l'idée d'un espace-temps global.

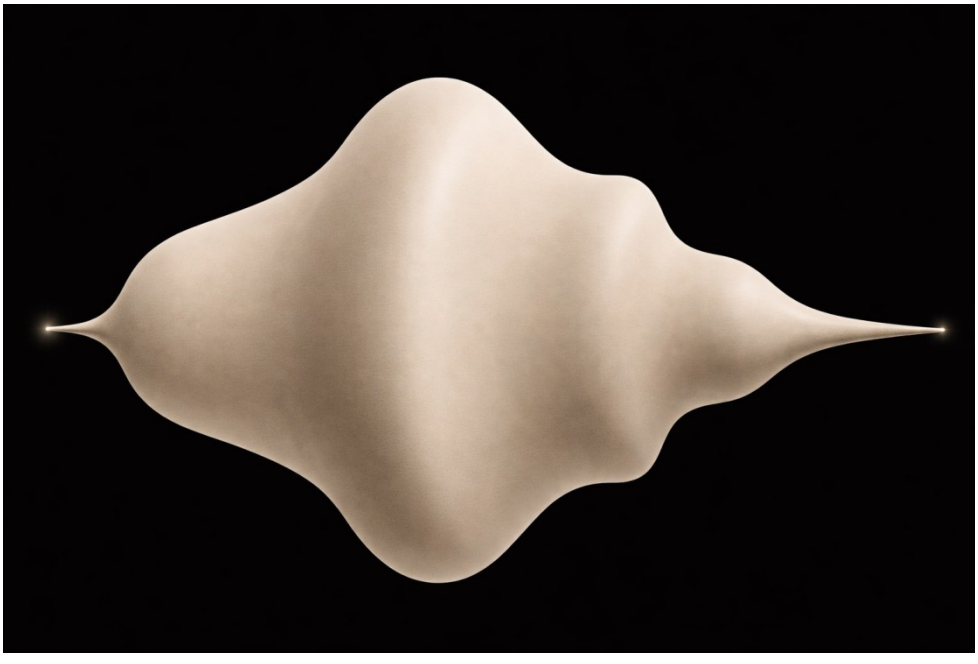

Figure 32 Schéma représentant l'univers-bloc comme un tube déformé par les étapes de son évolution géométrique, entre deux singularités, depuis le *Big Bang*, les différents régimes d'expansion, inflation et contraction, jusqu'à un *Big Crunch*. C'est une version orchestrale dont on ne représente que le volume.

Notre point de départ descriptif arbitraire (il faut bien faire un choix) est l'Univers total, pris comme « unité » du bloc spatiotemporel. Cet Univers total contient tout l'espace à un âge donné de l'Univers, peuplé de centaines de milliards de galaxies, formant un gaz homogène à grande échelle, et d'une taille bien supérieure à 87 mille milliards de milliards de kilomètres[91]. Il peut être représenté comme une sphère ou hypersphère, dans laquelle nous sommes, et qu'il faut se figurer, non pas comme un point final, mais comme une étape dans le décours complet d'un univers formant un bloc spatiotemporel.

[91] La coupe spatiale réelle peut être finie et immensément plus grande, ou strictement infinie. Les besoins de cette représentation arbitraire nécessitent une définition chiffrée de la taille, à partir de laquelle il est possible de visualiser une sphère ou hypersphère (donc un volume limité par un bord), alors que faire le choix de l'infini consisterait à visualiser une sphère ou hypersphère sans bord, ce qui est plus difficile à concevoir !

Ensuite, l'Univers-bloc est une série de ces sphères ou hypersphères, qu'il faut se figurer, par transparence visuelle, comme se succédant dans le bloc. Cette « succession » n'est pas un défilement réel, dans le temps, mais un ordre géométrique spatiotemporel.

Enfin, le bloc-univers peut être visualisé comme un « tube » dont la section varie continûment, s'évasant depuis le *Big Bang* jusqu'à nos jours, avec un univers en expansion spatiale continue et accélérée. Ce tube part d'une taille plus que minuscule, associée à la singularité initiale et à l'échelle de Planck, jusqu'à une taille supérieure à 87 mille milliards de milliards de kilomètres à l'époque actuelle. Et, comme des voyageurs dans un tunnel, nous pouvons voir à l'intérieur du tube : c'est ce que nous montre toute l'exploration astronomique spatiotemporelle : « voir loin c'est voir dans le passé »[92].

Il faut toutefois préciser deux choses : (1) ce tube se prolonge au-delà de notre présent apparent, incluant tout le futur de l'Univers, qui, selon les modèles, peut correspondre, soit à une expansion indéfinie et une dilution extrême de la matière-énergie, soit à une recontraction menant à un *Big Crunch*[93] ; (2) ce « tube » n'existe évidemment que dans la représentation, et non dans la réalité physique, le bloc n'étant pas plongé dans un espace extérieur où il aurait une silhouette. Cependant, définir cette « silhouette » est une manière de pouvoir avancer vers sa multiplication multiverselle : c'est bien un ensemble de ces silhouettes qui forme un multivers.

La démone de Laplace

Pierre-Simon Laplace était un mathématicien, astronome et physicien à cheval entre 18e et 19e siècle. En 1814, dans son *Essai philosophique sur les probabilités*[94], Laplace réalise une expérience de pensée intrigante. Il imagine : *« Une intelligence qui, pour un instant*

[92] Nous verrons plus loin les questions d'entropie et de flèche du temps qui expliquent pourquoi nous ne pouvons pas voir « vers le futur ».

[93] Certaines données tendent à montrer une diminution progressive de l'accélération depuis environ 2,5 milliards d'années, alors qu'elle était plus marquée il y a 7 milliards d'années, laissant envisager une fin en *Big Crunch* pour notre univers. Cher lecteur, que préfères-tu : une évaporation ou une recompression vers l'atome primordial ? Une idée encore dans les passionnants débats entre scientifiques depuis 2025. À suivre…

[94] Laplace, 2020.

donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux. » Bien plus tard, cette hypothèse d'omniscience déterministe fut reprise dans les débats philosophiques du 19e siècle, sous l'intitulé de « démon de Laplace »[95].

D'une certaine façon, on peut noter une certaine convergence entre le démon de Laplace et l'univers-bloc, mais ils ne se confondent pas. Le démon suppose un déterminisme dynamique : connaissant l'état complet du monde, à un instant donné, et ses lois, une intelligence pourrait calculer tout le passé et tout le futur. Pour autant, le temps reste un paramètre d'évolution, mais l'avenir est en principe déjà contenu dans le présent. L'univers-bloc, lui, est une thèse ontologique issue de la relativité : passé, présent et futur coexistent dans un même bloc d'espace-temps à quatre dimensions. Il n'y a plus « calcul » du futur à partir du présent ; le futur est déjà là, comme une autre région du bloc.

On peut dire que le démon de Laplace est l'image épistémique d'un monde qui, ontologiquement, ressemble à un univers-bloc. Le démon parcourt analytiquement ce que le bloc contient géométriquement. Mais le déterminisme laplacien n'implique pas nécessairement l'éternalisme relativiste. Il reste compatible avec une vision plus classique du temps comme paramètre, tant que les lois sont réversibles et déterministes. En résumé, le démon serait une conscience fictive capable de « lire » la géométrie interne du bloc, non de la produire.

Cependant, pour arriver à faire son job, notre « démon » aurait besoin d'une parfaite et exhaustive information sur l'état microscopique de tout l'univers, de lois strictement déterministes valables à toutes les échelles et d'une puissance de calcul au moins équivalente à celle de l'univers lui-même. Même un super-ordinateur ne suffirait pas. Il faudrait au démon de Laplace, carrément, une position hors du monde plutôt qu'un ordinateur-universel.

[95] Expression inventée par ses biographes.

Alors, laissez-moi vous présenter la sœur jumelle du démon : la « démone de Laplace », qui possède bien plus de pouvoirs que son célèbre frangin. Entité féminine, faible en math, comme toutes ses consœurs :[96] elle fait ce qu'elle veut ! Et là où le démon doit laborieusement calculer… elle voit ! Placée hors de l'univers-bloc, elle n'a pas besoin d'inférer le futur à partir du présent : elle embrasse d'un seul regard l'intégralité du bloc espace-temps. Pour elle, passé, présent et futur ne sont pas trois régions distinctes (d'ailleurs, pour elle, cela n'a aucun sens), mais une seule architecture à quatre dimensions, donnée tout entière.

Figure 33 Image d'artiste et fantaisiste des lignes d'univers, qui traversent l'écran de la droite (le passé) vers la gauche (le futur) et qu'une coquine démone s'amuse à agiter, indifférente aux effets qu'elle induit dans les phénomènes.

Notre maligne démone ne se contente pas de contempler. Elle peut aussi pénétrer dans le bloc, saisir à deux mains une brassée de lignes d'univers, que ce soit celles de particules, d'une étoile, d'un être conscient, de vous, de moi… et la « secouer » ! Et cela la fait bien rire, notre espiègle démone, car ce geste ne fait pas que modifier le passé

[96] Nous sommes dans le cliché, la caricature et l'humour, bien évidemment.

déjà écoulé ou le futur encore ouvert, mais il déforme la géométrie de l'espace-temps elle-même. Les relations causales, vues de l'intérieur, apparaissent totalement bouleversées. Tandis que vues de l'extérieur, elles ne sont que des réagencements de trajectoires dans la totalité universelle.

Mais ce n'est pas fini ! Car cette puissante démone peut aussi décider de choisir une tranche du bloc, une hypersurface correspondant à ce que nous appelons un « instant ». Elle y entre comme dans une coupe transversale dans une miche de pain, à n'importe quel endroit du bloc, observant que tout y est simultané, parfaitement immobile, étalé sans distinction entre passé et futur. Le temps, dans cette coupe, n'est plus un écoulement, mais une dimension suspendue. Facétieuse et curieuse, la démone de Laplace s'amuse ainsi à voyager dans l'univers-bloc, sautant du fond diffus cosmologique, 380 000 ans après le *Big Bang*, à l'Égypte des pharaons il y a 3 mille ans, pour retourner d'un clin d'œil à la formation des toutes premières galaxies, il y a des milliards d'années, ou faire un bond au quatrième millénaire après J. C., sur une espèce de planète surchauffée où, l'humanité disparue, ne survivent que quelques animaux bien adaptés… et ainsi de suite.

EN CONCLUSION

Pour rendre perceptible le modèle du *Big Bang* dans le cadre de l'univers-bloc, il est utile d'introduire une représentation visuelle simple de la croissance spatiale de l'Univers. Le tableau qui suit propose ainsi de lire l'histoire cosmologique comme la variation progressive du diamètre du « tube » de l'univers-bloc au fil des grandes époques. Chaque ligne correspond à une coupe spatiale globale à un âge donné, caractérisée par une taille typique de l'Univers à cet instant. Il ne s'agit pas de mesures exactes, mais d'ordres de grandeur destinés à offrir une intuition géométrique de l'expansion cosmique, depuis les toutes premières échelles du *Big Bang* jusqu'à la borne minimale actuelle de l'Univers total. Cette visualisation permet de saisir d'un seul regard comment le récit standard du *Big Bang* s'inscrit dans une structure spatiotemporelle globale, continue et déjà entièrement donnée dans l'univers-bloc.

Ce tableau (page suivante) met en évidence un point ontologique central : dans le cadre de l'univers-bloc, l'Univers pris comme totalité spatiotemporelle constitue une véritable unité physique. Cette unité

n'est pas un simple « univers observable », ni une phase particulière de l'histoire cosmique, mais un bloc complet, intégrant l'ensemble de ses âges. C'est précisément cette ontologie physique qui rend conceptuellement possible le multivers, compris comme un ensemble de tels univers-blocs distincts.

À partir de là, on peut envisager des types de pluralité cosmique, à l'instar de ce que propose Max Tegmark avec ses quatre « niveaux » de multivers. Des niveaux, qui sont définis suivant une logique descriptive et qui correspondent à des variations des lois physiques, des constantes, ou même des structures mathématiques sous-jacentes. L'univers-bloc fournit ainsi l'unité de base à partir de laquelle peut se déployer, de manière cohérente, toute une hiérarchie multiverselle.

LES TAILLES DE L'UNIVERS-BLOC
(diamètres du « tube »)

Singularité initiale (Échelle de Planck : 10^{-35} m)
Fin de l'ère inflationnaire (de l'ordre du millimètre à quelques centimètres)
Nucléosynthèse primordiale (quelques minutes) (de l'ordre de 1 million de kilomètres)
Découplage rayonnement-matière (380 000 ans) (de l'ordre de 1 milliard de milliards de kilomètres)
Formation des premières galaxies (quelques centaines de millions d'années) (de l'ordre de 10 milliards de milliards de kilomètres)
Univers dominé par la matière (à quelques milliards d'années) (de l'ordre de 100 milliards de milliards de kilomètres)
Univers observable actuel (à 13,8 milliards d'années) (environ 9,5 milliards de milliards de milliards de kilomètres)
Univers total actuel (borne minimale) (supérieur à 87 mille milliards de milliards de kilomètres ou ∞)

2. Les multivers par types

Max Tegmark propose une classification des multivers en quatre « niveaux » dans lesquels les univers diffèrent respectivement par leur extension spatiale (niveau I), leurs constantes ou lois effectives issues de l'inflation éternelle (niveau II), les branches quantiques (niveau III) et les structures mathématiques fondamentales (niveau IV)[97].

Nous allons reprendre cette approche selon une logique cosmique, c'est-à-dire une logique qui organise les multivers les uns par rapport aux autres dans une structure hiérarchique d'emboîtements. Cela permettra une construction cosmologique globale et exhaustive. Nous parlerons donc de « types » de multivers. Les quatre types de multivers qui seront développés séparément, sont :

Multivers de type 1 : un multivers mathématique. Il correspond à l'architecture globale des structures cohérentes. Le mode de variation est la multiplicité des structures mathématiques elles-mêmes, c'est-à-dire une variation de structure. Ce multivers englobe les multivers de types 2, 3 et 4.

Multivers de type 2 : un multivers inflationnaire global (l'inflation éternelle). Il s'agit de la multiplicité des univers post-inflationnaires à l'intérieur d'une même structure mathématique fondamentale. Le mode de variation est une variation de paramètres. Ce multivers englobe les multivers de types 2 et 3.

Multivers de type 3 : un multivers spatial (l'expansion infinie d'un univers post-inflationnaire). Il correspond à la multiplicité des régions observables au sein d'un univers donné. Le mode de variation est une variation de position spatiale. Ce multivers englobe le multivers de type 4.

Multivers de type 4 : un multivers quantique modal bloc (l'interprétation des mondes multiples d'Everett). Il désigne la multiplicité des versions coexistantes d'un même monde. Le mode de variation est une variation d'état.

Avant d'entrer dans l'examen détaillé des quatre types de multivers, il nous faudra expliciter deux matrices conceptuelles qui

[97] Tegmark, 2003ab, 2014.

en orientent silencieusement la lecture : la répétition du même et la multiplication du possible. La première trouve une formulation radicale chez Louis Auguste Blanqui, révolutionnaire socialiste français, pour qui un espace infini et une combinatoire finie impliquent la reproduction à l'identique de configurations (la reproduction du même), jusqu'à nos doubles exacts disséminés dans l'étendue cosmique. La seconde conception reçoit une articulation analytique chez David Lewis, philosophe américain, avec le réalisme modal, où chaque possibilité logique possède sa consistance propre (la multiplication du possible). Entre duplication stricte et prolifération modale, ces deux pôles dessinent l'horizon théorique dans lequel les multivers de types 1 à 4 viendront prendre place.

La répétition du même

La répétition du même s'énonce, dans sa forme la plus radicale au 19e siècle, chez Louis Auguste Blanqui, non pas dans un traité de cosmologie académique, mais dans un court ouvrage rédigé en captivité au fort du Taureau en 1871 : *L'Éternité par les astres*[98]. Le contexte importe. Après l'écrasement de la Commune de Paris, Blanqui est emprisonné et il est coupé de l'action politique qui avait structuré toute son existence. C'est dans cet isolement forcé qu'il déplace son énergie spéculative vers le ciel. Il s'appuie sur la cosmologie newtonienne alors dominante à son époque : un espace infini, homogène, peuplé d'une infinité d'astres distribués sans centre ni bord. À cela Blanqui ajoute une hypothèse implicite, mais décisive, de deux nombres finis : (1) celui des combinaisons possibles de la matière pour un volume donné ; (2) celui des éléments. Dès lors, dans une étendue infinie, toutes les configurations doivent se répéter, et se répéter un nombre infini de fois. Notre monde, avec son histoire précise, ses individus singuliers, ses gestes contingents, n'est qu'un exemplaire parmi une infinité d'exemplaires rigoureusement identiques disséminés dans l'espace. La répétition n'est pas cyclique dans le temps, elle est spatiale ; elle ne relève pas d'un retour, mais d'une duplication.

À l'époque, l'accueil de ce texte fut marginal. Blanqui n'était pas reconnu comme savant et son nom restait attaché à l'insurrection et à la conspiration. Les astronomes du 19e siècle n'y virent pas une

[98] Blanqui, 2012.

contribution scientifique, mais une curiosité spéculative issue d'un militant défait. L'ouvrage ne s'inscrivait dans aucune institution savante, ne proposait ni calculs nouveaux ni observations inédites. Sans le savoir, il extrapolait, avec une rigueur logique certaine, les prémisses de la cosmologie classique. Il demeura donc en marge, cité sporadiquement comme singularité littéraire ou politique plutôt que comme thèse cosmologique. Pourtant, son raisonnement anticipe, dans sa structure, des arguments combinatoires qui réapparaîtront au 20e siècle dès que l'on admettra à nouveau l'hypothèse d'un espace infini statistiquement homogène.

La résurgence de l'idée s'opère indirectement. Au 20e siècle, avec l'extension du cosmos au-delà de la Voie lactée, puis avec les modèles d'expansion issus de la relativité générale, l'hypothèse d'un espace globalement infini redevient physiquement pensable. Dès lors, l'argument combinatoire retrouve sa force : si les conditions physiques sont partout réalisées avec une distribution ergodique, c'est-à-dire « qui explore tous les possibles », alors les configurations compatibles avec les lois se répètent nécessairement.

Blanqui est redécouvert *a posteriori* comme précurseur d'une thèse que la cosmologie contemporaine reformule dans un langage statistique plutôt que spéculatif. Ce qui était, en 1871, méditation solitaire d'un prisonnier en manque d'évasion, devient, dans un cadre théorique renouvelé, conséquence presque mécanique d'un espace infini empli d'une matière combinable en un nombre fini de configurations. La répétition du même cesse d'être une provocation philosophique ; elle devient un corollaire possible d'une certaine ontologie cosmologique.

La multiplication du possible

La multiplication du possible trouve sa formulation la plus systématique au 20e siècle chez David Lewis. Le contexte est cette fois analytique et universitaire : la philosophie anglo-saxonne des années 1960-1980 travaille intensément la *logique modale*[99], les mondes possibles servant d'outils sémantiques pour analyser la

[99] La logique modale est une branche de la logique qui étudie les notions de nécessité et de possibilité au moyen d'opérateurs formels (« il est nécessaire que », « il est possible que »). Elle recourt souvent à la théorie des mondes possibles pour en expliciter le fonctionnement.

nécessité (ce qui ne peut pas ne pas être) et la contingence (ce qui pourrait être autrement). On va le voir, Lewis radicalise cet outil conceptuel.

Dans *De la pluralité des mondes*[100], Lewis soutient que ces mondes ne sont pas de simples fictions logiques ou dispositifs linguistiques, mais des réalités concrètes, aussi effectives que la nôtre. Chaque monde est un tout spatio-temporel fermé sur lui-même. Ils sont causalement isolés les uns des autres, sans interaction ni chevauchement. Le possible n'est pas une réserve abstraite de scénarios ; il est ontologiquement réalisé.

La thèse naît donc d'un débat technique sur le statut des quantificateurs modaux, mais elle déborde rapidement le cadre logique pour devenir une ontologie générale. Là où l'argument de la répétition du même procède d'une combinatoire finie inscrite dans un espace infini, la multiplication du possible procède d'un principe de plénitude modale : toute configuration cohérente, possible, avec une structure logique donnée, existe dans un monde. Il s'agit alors d'une diversification maximale à travers une pluralité de totalités disjointes. Deux individus strictement semblables peuvent exister dans deux mondes différents, mais ils ne sont pas le même individu ; ce sont des *contreparties*.

La réception de cette théorie fut vive et controversée. Beaucoup y virent une inflation ontologique extravagante, disproportionnée au regard des bénéfices explicatifs. D'autres reconnurent la puissance unificatrice du dispositif : en traitant les mondes possibles comme réels, Lewis simplifie la sémantique modale et évite de multiplier les distinctions *ad hoc* entre fiction, abstraction et réalité. Depuis lors, ce qui a été reconnu comme un *réalisme modal* reste minoritaire, mais incontournable. Il constitue le pôle conceptuel de la multiplication du possible : non plus la répétition nécessaire d'un même arrangement dans l'infini spatial, mais l'effectivité de toutes les variations logiquement admissibles, chacune portée par une totalité autonome.

La répétition du même et la multiplication du possible peuvent être comprises comme deux dynamiques conceptuelles complémentaires qui, superposées, dessinent l'architecture d'une fractale. La première pose qu'à l'intérieur d'une structure donnée, dès

[100] Lewis, 2007.

lors que les combinaisons matérielles sont en nombre fini et que l'extension est sans borne, certaines configurations doivent réapparaître à l'identique : le même se reproduit. La seconde affirme que toute configuration logiquement cohérente possède son domaine d'effectivité : le possible se déploie. Si l'on pense ces deux principes non comme exclusifs, mais comme intriqués, la répétition du même opère à l'intérieur de chaque domaine, tandis que la multiplication du possible différencie les domaines eux-mêmes. On obtient alors une stratification où chaque niveau répète certaines structures et en diversifie d'autres, selon une logique d'inclusion ontologique. C'est sur ce double fond, duplication interne et prolifération modale, que s'inscrira plus loin notre définition d'un omnivers fractal.

Le multivers de type 1

Le statut ontologique du multivers de type 1 est mathématique. Ce multivers correspond à l'architecture globale de structures mathématiques cohérentes, donc possibles au sens Lewisien. Le mode de variation est donc la multiplicité des structures mathématiques elles-mêmes. Elles définissent une infinité d'univers très variés au sein du multivers de type 2.

Comme nous le dit Tegmark (2004), le multivers de type 1 (de niveau IV chez cet auteur) est « étrange ». La première étrangeté est que nous ne connaissons pas encore la structure mathématique au fondement de notre propre univers *Big Bang*. Pour cela il nous faudrait construire une « Théorie du Tout », qui intégrerait une gravitation quantique et qui expliquerait tout, mais qui est encore en construction chez les physiciens-mathématiciens.

Pourtant, comme le souligne Tegmark, cette étrangeté n'a rien d'inédit. À mesure que la physique s'est affranchie de l'intuition ordinaire, elle a intégré des phénomènes qui paraissaient d'abord déroutants : la dilatation du temps aux grandes vitesses, l'existence de condensations gravitationnelles extrêmes comme les trous noirs, la superposition quantique où une particule n'est pas localisée en un point unique, la superfluidité de l'hélium qui grimpe le long des parois, ou encore les transitions à haute énergie où des particules changent de nature. Ce qui heurtait le sens commun est devenu banal pour le physicien.

John Archibald Wheeler a interrogé la nature de notre univers d'une manière radicale : « Pourquoi ces équations, et non d'autres ? » Par « équations », il visait l'ensemble de l'édifice mathématique mobilisé pour décrire le réel. Prenons deux exemples : la loi de la gravitation d'Isaac Newton, $F = G \times (m1 \times m2) / r^2$, ou la célèbre relation d'équivalence énergie-matière dans la relativité d'Albert Einstein, $E = m \times c^2$. Pourquoi de telles équations et pas d'autres ? Telle est la question de Wheeler. Et cette question vaut pour la totalité du corpus formel d'équations qui régissent le monde physique. Pourquoi est-ce précisément ce système d'équations qui structure le monde ? Pourquoi les lois fondamentales possèdent-elles cette forme plutôt qu'une autre, pourtant logiquement concevable ? Parmi l'ensemble des structures mathématiques possibles, pourquoi la dynamique cosmique relève-t-elle de la relativité générale, du modèle standard en physique et de la mécanique quantique, et non d'un autre cadre tout aussi cohérent ? Pourquoi G a-t-elle la valeur de $6{,}674 \times 10^{-11}$ $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$? Pourquoi la vitesse de la lumière vaut-elle 299 792 458 mètres par seconde ? Pourquoi la constante de Planck h vaut-elle $6{,}626 \times 10^{-34}$ joule seconde ? Pourquoi de telles masses pour les particules élémentaires ?

Ou encore, pourquoi les lois de la physique sont-elles identiques quel que soit le lieu ou l'époque où on les teste ? Pourquoi les lois de la physique restent-elles identiques quelle que soit la direction dans l'espace ? Pourquoi tous les observateurs en mouvement uniforme décrivent-ils les phénomènes avec les mêmes lois ? Pourquoi la charge électrique se conserve-t-elle toujours exactement ? Pourquoi la nature distingue-t-elle la gauche de la droite dans l'interaction nucléaire faible et non dans l'électromagnétisme ou dans l'interaction nucléaire forte ? En résumé, pourquoi l'architecture mathématique fondamentale du réel possède-t-elle exactement cette configuration, et non une autre tout aussi mathématiquement concevable ?

Toutes ces questions sont cruciales, car leurs réponses définissent ce qu'est notre univers. Quelques exemples. Si la constante de structure fine $\alpha \approx 1/137$ augmentait de quelques pour cent, la force électromagnétique lierait les électrons beaucoup plus fortement aux noyaux atomiques. Une variation de l'ordre de 4 à 5 % suffirait, selon plusieurs études, à rendre certains noyaux atomiques instables ou à modifier drastiquement la chimie. À l'inverse, une diminution

comparable affaiblirait les liaisons atomiques : les molécules complexes deviendraient alors difficiles à stabiliser.

Si la constante gravitationnelle *G* était plus grande d'un facteur 2 à 10, la contraction des nuages moléculaires serait plus rapide, les étoiles seraient plus massives, plus chaudes et leurs durées de vie beaucoup plus brèves, chutant en dessous de quelques dizaines de millions d'années. Une durée insuffisante pour permettre une évolution biologique complexe. Si *G* était plus faible d'un facteur comparable, l'effondrement gravitationnel deviendrait trop inefficace : la formation stellaire se raréfierait, voire serait impossible dans certains scénarios.

Pour la constante cosmologique Λ[101], l'effet est encore plus spectaculaire. Si sa valeur était plus grande d'un facteur de l'ordre de 10 à 100 par rapport à celle observée, l'expansion accélérée empêcherait l'agrégation de la matière en galaxies. Si elle était négative et d'amplitude un peu plus élevée, l'univers s'effondrerait trop rapidement en un *Big Crunch*, avant la formation d'étoiles stables.

La différence de masse entre le neutron et le proton, d'environ 1,3 mégaélectronvolts, est également critique. Une variation de quelques pour cent suffirait à empêcher la stabilité de l'hydrogène ou à modifier radicalement la nucléosynthèse primordiale. Sans hydrogène stable, pas d'eau et pas de chimie organique.

Enfin, si l'interaction nucléaire forte était plus faible de quelques pour cent, le deutérium ne serait plus stable ; la chaîne de réactions nucléaires dans les étoiles serait bloquée. Si elle était plus forte de quelques pour cent, presque tout l'hydrogène primordial aurait fusionné en hélium, dès les premières minutes, donc il n'y aurait plus eu de combustible pour des étoiles de longue durée. Ces exemples nous montrent que des variations modestes, parfois de quelques pour cent seulement, suffisent à transformer en profondeur la structure nucléaire, les atomes, les molécules, la chimie, la biologie et la cosmologie stellaire.

---

[101] La constante cosmologique Λ est le terme ajouté par Einstein dans ses équations pour garder un univers statique. Interprétée comme une densité d'énergie uniforme du vide, elle correspond à ce qu'on appelle aujourd'hui l'énergie sombre, responsable de l'accélération de l'expansion cosmique (l'univers n'est donc pas statique).

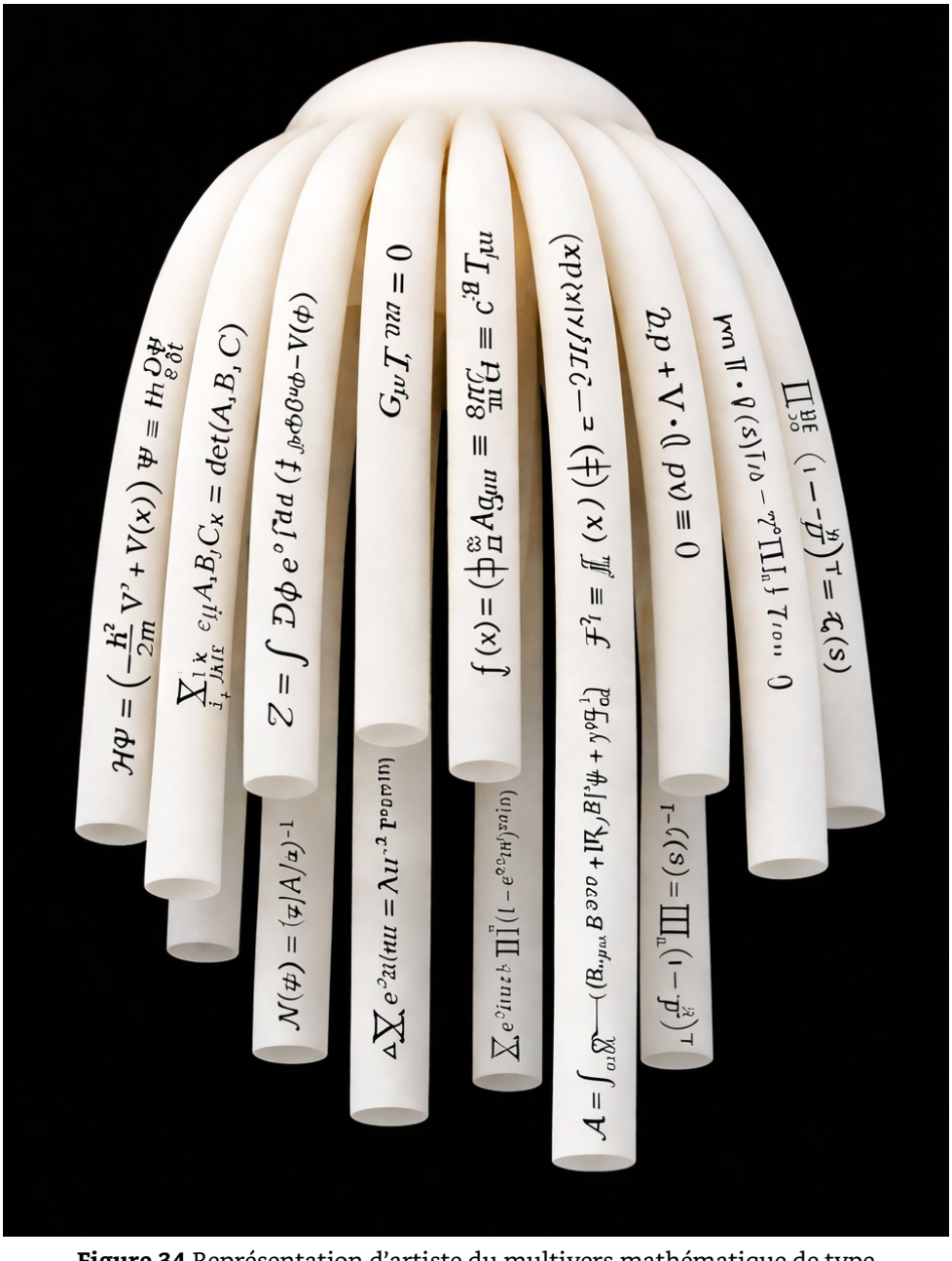

Figure 34 Représentation d'artiste du multivers mathématique de type 1. Chaque tube symbolise la génération d'un multivers selon une structure mathématique particulière. Quant à savoir d'où vient le multivers mathématique, le lecteur est prié de se référer à la question leibnizienne : pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?

Le multivers de type 1 ouvre ainsi le champ à une pluralité d'univers fondés sur des architectures mathématiques différentes : constantes modifiées, paramètres ajustés autrement, lois structurées selon d'autres équilibres formels. Certains donneraient naissance à des étoiles et à des galaxies, d'autres demeureraient sans structures durables ; certains autoriseraient une chimie complexe et des formes de vie, d'autres resteraient biologiquement stériles.

Le multivers mathématique ne se limite pas à faire varier des constantes à l'intérieur d'un même cadre inflationnaire. Le multivers de type 1 englobe toutes les structures mathématiques cohérentes, donc aussi toutes les géométries possibles, toutes les dimensionnalités, toutes les signatures métriques[102], toutes les dynamiques concevables. Certaines structures peuvent ressembler à des espaces continus, discrets ou fractals, d'autres encore à des topologies exotiques.

Dans cette perspective, un « univers » peut être fondé sur un espace à trois dimensions spatiales comme le nôtre, mais aussi sur deux, quatre ou davantage ; sur une géométrie euclidienne, hyperbolique ou elliptique[103] ; sur une topologie simplement connexe ou multiconnexe ; sur des lois locales ou non locales ; sur des champs continus ou des graphes discrets. Certains univers admettent une phase inflationnaire suivie d'une sortie de l'inflation, après quoi l'expansion peut se poursuivre selon d'autres régimes physiques (effets de l'énergie sombre, comme dans notre univers), tandis que d'autres restent en inflation perpétuelle ; certains peuvent être statiques, d'autres cycliques, d'autres encore dépourvus de temps au sens que nous lui donnons. La variation porte alors sur l'ossature même de la structure : ce ne sont plus seulement les paramètres d'un même modèle qui changent, mais le type d'espace, le nombre de degrés de liberté, la nature des objets fondamentaux et des relations qui les unissent.

---

[102] La signature métrique est la manière dont on distingue le temps de l'espace dans la formule qui mesure les distances de l'univers. Dans notre univers il y a une différence pour le temps par rapport aux trois directions d'espace. On a trois directions d'espace et une direction de temps. Cette différence fait que le temps ne se comporte pas comme une simple direction spatiale : on ne peut pas s'y déplacer librement (vers le passé ou le futur) comme on le fait dans l'espace.

[103] Voir le chapitre sur *Les géométries de l'univers*.

Ainsi compris, le multivers de type 1 ne contient pas seulement des univers « réglés autrement », mais des univers géométriquement et structurellement hétérogènes. Notre univers inflationnaire à trois dimensions spatiales (et une dimension temporelle différente) n'est qu'un cas particulier au sein d'un ensemble beaucoup plus vaste de formes mathématiques possibles, dont certaines ne ressemblent en rien à ce que nous appelons un cosmos.

Le multivers de type 2

Le statut ontologique est un multivers inflationnaire global (l'inflation chaotique[104] éternelle). Le mode de variation consiste en une multiplicité des univers post-inflationnaires à l'intérieur d'une même structure mathématique fondamentale. Le mode de variation est une variation de paramètres. Le multivers inflationnaire de type 2 définit une infinité d'univers spatiaux très variés de type 3.

Dans les années 1970, le modèle du *Big Bang* s'impose comme le récit physique de l'histoire cosmique. Il ne s'agit pas d'une explosion dans l'espace, mais d'une expansion de l'espace lui-même, accompagnée d'un refroidissement rapide. Dans les premières minutes se produit la nucléosynthèse primordiale, formant les noyaux légers (l'hydrogène, l'hélium, des traces de lithium). Avant environ 400 000 ans, l'univers est un plasma chaud de protons, neutrons et de photons qui heurtent sans cesse des électrons libres, ce qui bloque les photons, rendant l'univers opaque. La lumière essaie d'avancer, mais elle rebondit sans arrêt sur les électrons libres. Puis, sous l'effet de l'expansion et du refroidissement, les électrons se collent aux noyaux (protons et neutrons) pour former des atomes (hydrogène et hélium), le brouillard plasmatique disparaît : la lumière peut enfin filer tout droit, et l'univers devient transparent. Ce rayonnement subsiste aujourd'hui sous la forme du fond diffus cosmologique. Puis la gravité amplifie les inhomogénéités initiales, entraînant l'effondrement de la matière en structures de plus en plus complexes : galaxies, étoiles, planètes.

Pourtant, des questions troublantes subsistaient quant à ce qui s'était passé au tout début, sous la forme de quatre problèmes :

[104] Le qualificatif « chaotique » ne signifie pas une absence d'organisation, mais désigne la sensibilité aux fluctuations initiales quantiques du champ inflationnaire.

– **Le problème de l'origine :** quelque chose est-il apparu à partir de rien ?

– **Le problème des monopôles :** où sont passées toutes les particules superlourdes appelées monopôles magnétiques[105], qui ont été créées très tôt ?

– **Le problème de la platitude :** pourquoi l'espace est-il si vaste, si ancien et si géométriquement plat (espace euclidien) ?

– **Le problème de l'horizon :** comment la température du fond diffus cosmologique peut-elle être pratiquement identique dans des régions de l'espace qui n'ont jamais été en contact causal ?

– **Le problème de l'origine des fluctuations primordiales :** quelle est l'origine des fluctuations primordiales à partir desquelles toute la structure de la matière a grandi ?[106]

Une théorie s'est imposée dans les années 1980-90, celle de l'inflation[107]. L'inflation est une expansion rapide de l'espace, diluant les monopôles et autres débris, rendant l'espace plat et uniforme comme la surface d'un ballon qui se gonfle, et transformant les fluctuations quantiques du vide en fluctuations de densité macroscopiquement importantes, capables d'amorcer la formation des galaxies.

L'inflation d'abord décrite dans le cadre du *Big Bang* pour un univers particulier, le nôtre, est devenue une théorie multiverselle, en considérant l'inflation comme un phénomène général, pour un multivers inflationnaire global (l'inflation chaotique éternelle). Notre univers n'étant qu'une des bulles en nombre infini de ce système inflationnaire global.

---

[105] Les monopôles magnétiques sont des particules hypothétiques prédites par certaines théories de grande unification élaborées au 20e siècle, dans lesquelles les forces électromagnétique, nucléaires faible et forte, étaient unifiées aux très hautes énergies du tout début du *Big Bang*. Contrairement aux aimants ordinaires, qui possèdent toujours un pôle nord et un pôle sud, un monopôle serait une particule portant une charge magnétique isolée, nord ou sud.

[106] Il s'agit d'expliquer l'origine des fluctuations de densité observées dans le fond diffus cosmologique et qui ont servi de germes à la formation des galaxies et des grandes structures cosmiques (amas et superamas).

[107] Guth, Steinhardt, 1984 ; Linde, 1984.

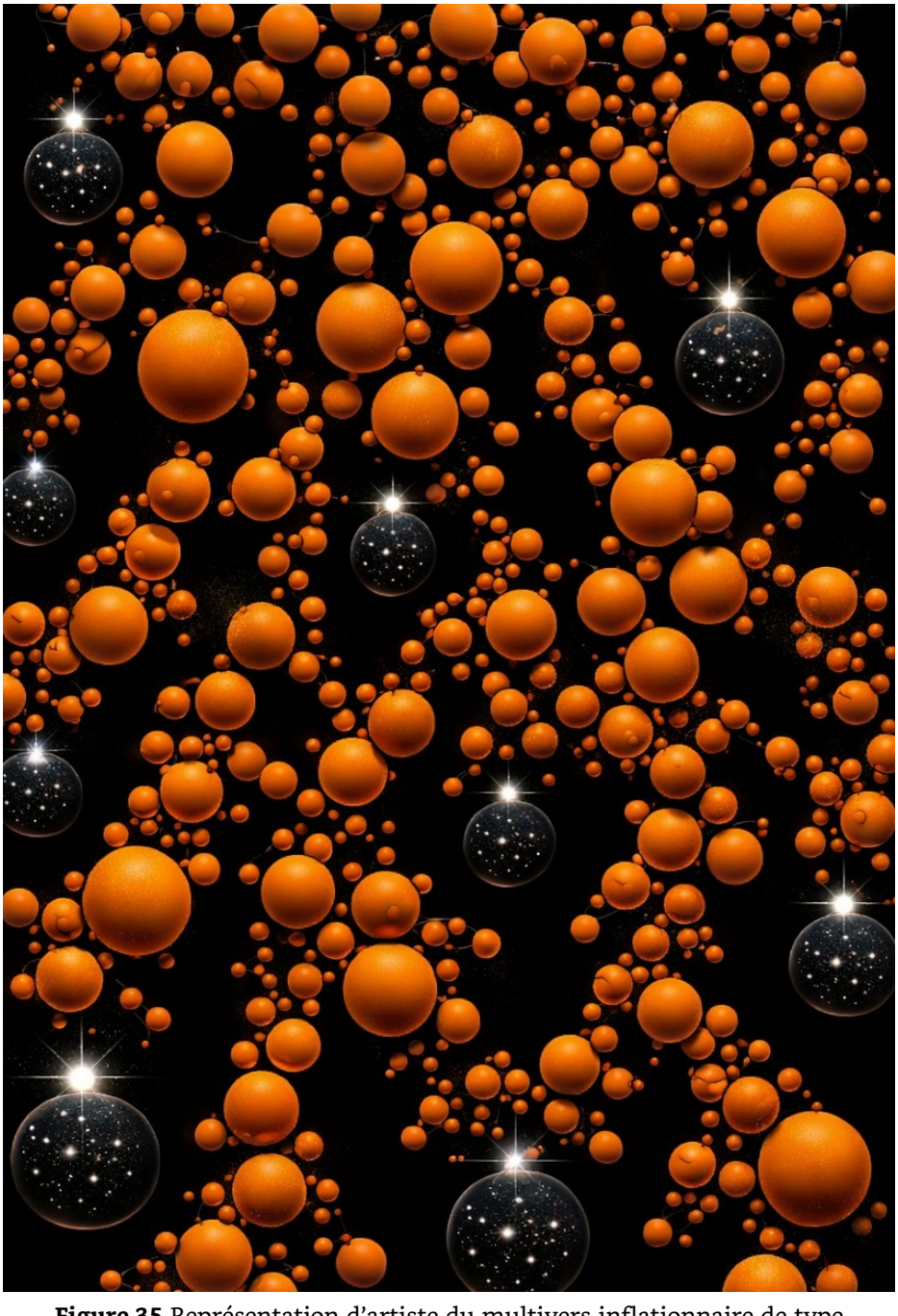

Figure 35 Représentation d'artiste du multivers inflationnaire de type 2. L'inflation d'énergie se déploie aléatoirement, exponentiellement et à l'infini (bulles rouges). Elle peut cesser ici ou là, formant alors un des univers *Big Bang* pouvant accueillir biologie et conscience sur une planète. Nous sommes dans l'un de ces univers.

Dans le processus inflationnaire global, une bulle d'inflation en engendre d'autres, qui à leur tour en produisent d'autres, dans une réaction en chaîne sans fin. Chacune de ces bulles est infinie en taille, pourtant il existe une infinité de bulles, puisque la réaction en chaîne ne s'arrête jamais. En effet, si cette croissance exponentielle du nombre de bulles dure depuis toujours, il existera une infinité non dénombrable d'univers parallèles de ce type.

Un univers phénoménal se produit lorsque l'inflation s'achève dans certaines régions de l'espace, l'énergie du champ inflationnaire se convertissant en particules et en rayonnement. La matière et les interactions fondamentales s'y déploient alors, permettant, sous l'effet de la gravitation, la formation des grandes structures cosmiques : galaxies, étoiles, planètes, avec l'éventuelle émergence de la biologie et de la conscience. Les bulles où l'inflation s'est arrêtée constituent ainsi les éléments du multivers de type 3.

Le multivers de type 3

Le statut ontologique est un multivers spatial, correspondant à l'extension infinie d'un univers post-inflationnaire. Il correspond à la multiplicité des régions observables au sein d'un univers donné. Le mode de variation est une variation de position spatiale. C'est le multivers qui correspond au modèle cosmologique actuel, de référence. Il s'accorde avec toutes les observations : un univers immense, qui pourrait être infini, au-delà de notre horizon cosmique (l'univers observable). C'est ce multivers spatial qui valut à Giordano Bruno[108] d'être condamné au bûcher en 1600.

Nous avons vu que l'univers s'est progressivement agrandit au fil des siècles, suite aux avancées observationnelles et scientifiques. En 1920-30 il faisait déjà 200 millions de milliards de milliards de kilomètres de diamètre, selon Edwin Hubble. De nos jours, la limite basse de l'univers total est estimée à 87 mille milliards de milliards de kilomètres de diamètre, c'est-à-dire environ 100 fois celui de

[108] Bruno, 1995. Philosophe, mathématicien et astronome, il poursuit les travaux de Nicolas de Cues et de Nicolas Copernic. Il développe une théorie de l'héliocentrisme et tente de démontrer, de manière philosophique, l'existence d'un univers infini dépourvu de centre comme de circonférence, peuplé d'une « quantité innombrable d'astres et de mondes identiques au nôtre ».

l'univers dit « observable ». Mais dans un espace pratiquement plat, euclidien, comment ne pas plutôt considérer l'univers total comme infini ? Et dans un espace infini, comment ne pas concevoir une infinité de sphères d'espace observable ? Un univers spatialement infini est ce que prédit la théorie de l'inflation cosmologique[109]. Et, en transposant une réplique célèbre, si les régions spatiales, ce que l'on appelle les univers observables, limités par l'horizon cosmique, n'étaient pas en nombre infini pour remplir l'infini, « ce serait un beau gâchis d'espace »[110].

L'univers n'est pas seulement possiblement infini : à grande échelle, il est remarquablement uniforme. Où que l'on porte le regard, on observe des galaxies regroupées en amas et en superamas[111]. Toutefois, les relevés tridimensionnels de leur distribution montrent que ces structures spectaculaires s'estompent lorsqu'on change d'échelle : au-delà d'environ mille milliard de milliards de kilomètres, l'organisation apparente cède la place à une homogénéité statistique, sans structures cohérentes plus vastes. Les mesures du fond diffus cosmologique confirment que cette uniformité se prolonge jusqu'aux limites de l'univers observable. « L'espace tel que nous le connaissons s'étend bien au-delà des limites de notre univers observable, regorgeant de galaxies, d'étoiles et de planètes »[112].

Un multivers de type 3 est basé sur deux éléments : (1) les conditions initiales ; et (2) les lois de la physique qui gouvernent l'évolution au-delà de ces conditions initiales. Dans le cas d'observateurs qui seraient situés dans d'autres régions spatiales, ils seront soumis aux mêmes lois que nous, mais à partir de conditions initiales différentes de celles de notre volume de Hubble.

Ces conditions initiales, qui comprennent les densités, les vitesses et la répartition des composantes de la matière, composantes qui

[109] Garriga, Vilenkin, 2001b.

[110] Réplique dite par Helen Hunt, son personnage parlant de la possibilité qu'il existe des extraterrestres dans l'univers, dans le film *Contact* (1997), réalisé par Robert Zemeckis.

[111] Par exemple, le superamas de galaxies Laniakea, qui englobe le superamas de la Vierge dont fait partie la Voie lactée.

[112] Tegmark, 2004.

proviennent des fluctuations quantiques survenues durant la phase d'inflation.

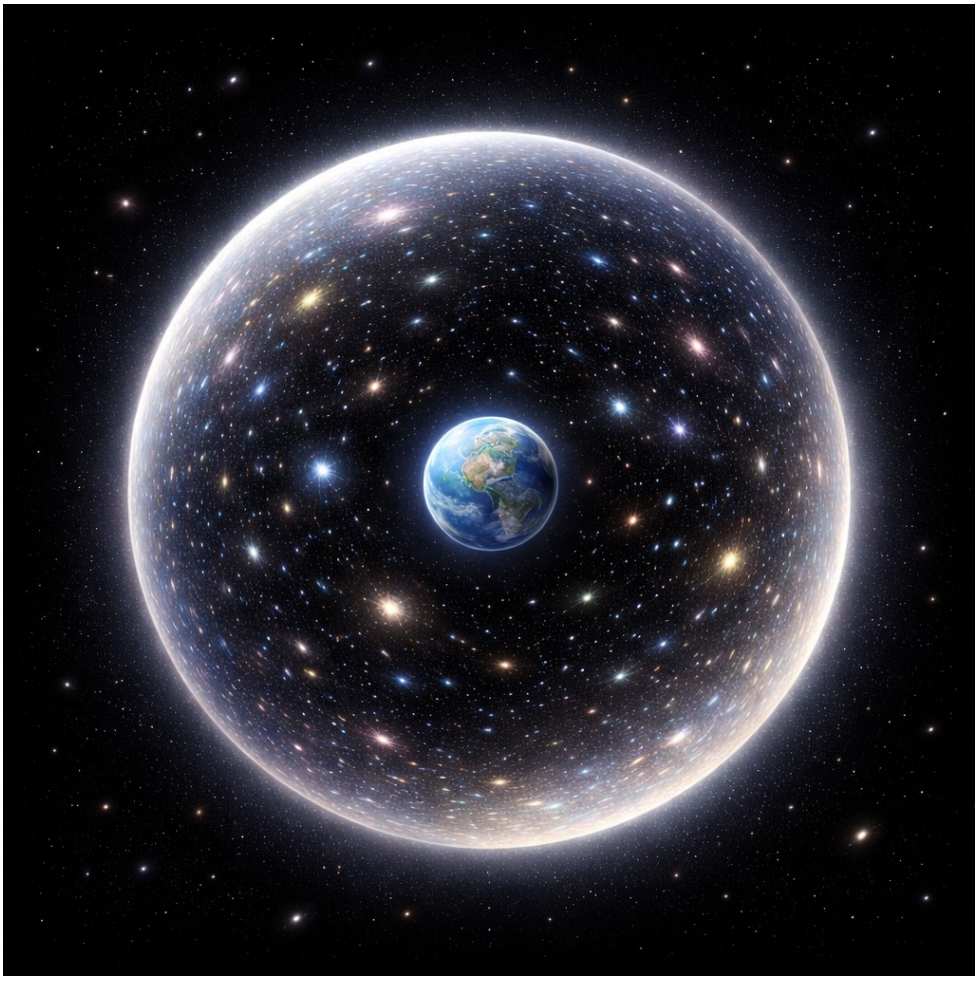

Figure 36 Représentation d'artiste d'une partie du multivers spatial de type 3. Ici est représenté l'une des « régions » en nombre infini de ce multivers spatial. Spatial signifie que les régions appartiennent à l'espace d'un même univers *Big Bang* issu de l'inflation cosmique.

Ce processus engendre un spectre de fluctuations pratiquement aléatoires, décrites mathématiquement comme un champ aléatoire *ergodique*. L'ergodicité signifie que la distribution statistique[113] obtenue en comparant de nombreux volumes dans un même univers

[113] Par exemple, les nombres d'étoiles, de galaxies, d'amas et de superamas dans un volume donné.

est identique à celle que l'on obtiendrait en considérant un ensemble d'univers distincts dotés de conditions initiales différentes. En d'autres termes, tout ce qui est physiquement possible ici se réalise ailleurs.

L'inflation attribue ainsi une probabilité non nulle à toutes les configurations initiales compatibles avec les lois, lesquelles sont ensuite amplifiées par l'instabilité gravitationnelle pour former galaxies, étoiles et planètes. Toutes les configurations imaginables de matière se produisent donc quelque part dans des volumes de Hubble suffisamment éloignés. Par principe de typicalité, notre propre volume doit être statistiquement ordinaire parmi ceux qui abritent des observateurs. Des estimations suggèrent qu'une copie identique de nous se trouverait à une distance de l'ordre de $10^{10^{29}}$ mètres.

S'il existe de multiples copies de « moi », partageant le même passé et les mêmes souvenirs, rien ne me permet de savoir laquelle je suis réellement, chacune éprouvant le même sentiment d'identité. Leurs trajectoires finiront toutefois par diverger ; dès lors, je ne peux formuler que des prédictions probabilistes quant à ce que je vivrai. Tegmark en conclut que cela ébranle la conception traditionnelle du déterminisme scientifique.

Cependant, ce point de vue est discutable. Car chacune de ces copies de « moi » demeure soumise aux lois de cause et d'effet. Et le fait même, pour chacun des « moi », d'accomplir l'action qui consiste à « raisonner en termes de probabilités » procède lui aussi d'enchaînements causaux (réfléchir et prédire le probable ne se font pas sans causes).

Si plusieurs copies de moi possèdent un passé strictement identique, chacune poursuivant ensuite une trajectoire différente, il devient impossible de savoir laquelle je suis. Cette impossibilité ne tient pas à une rupture de causalité, mais à un problème d'auto-localisation : j'ignore ma position dans l'ensemble. L'indétermination est donc indexicale et épistémique, non physique. Chaque trajectoire est déterminée, mais je ne peux prédire que la probabilité de me trouver dans l'une ou dans l'autre.

Ainsi, ce que le multivers ébranle n'est pas le déterminisme des lois, mais l'idée intuitive qu'un passé donné correspond à un unique futur vécu. Si l'on définit le déterminisme comme l'unicité phénoménale du futur personnel, alors oui, cette unicité disparaît. Mais si l'on entend par déterminisme, que l'état du monde, à un

instant donné, fixe entièrement son évolution selon des lois, alors le multivers de type 3 ne le contredit pas. Il le radicalise même, puisque toutes les possibilités compatibles avec les équations se réalisent effectivement. La tension porte moins sur la causalité que sur l'identité personnelle : qu'est-ce que « moi » signifie lorsqu'il existe plusieurs continuations également légitimes du même passé ? Ce n'est pas la physique qui vacille, mais notre représentation existentielle de l'unicité du devenir.

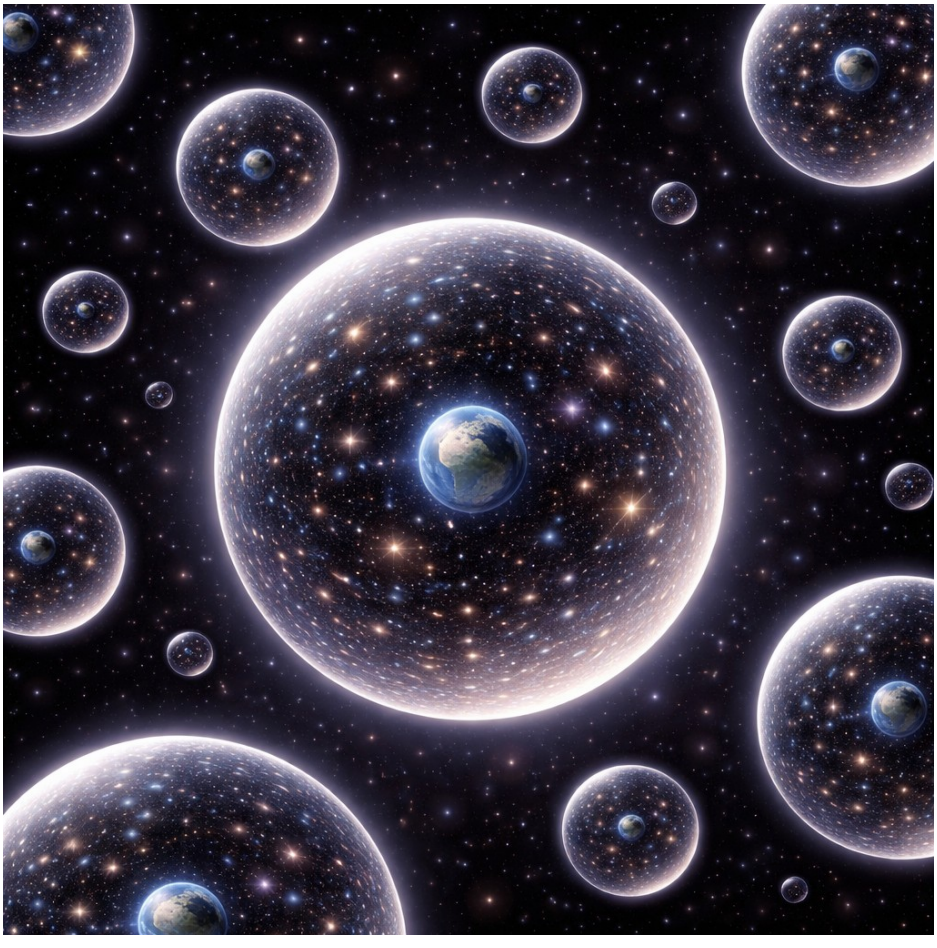

Figure 37 Représentation d'artiste du multivers spatial de type 3. Dans un univers *Big Bang* infini, existe une infinité de « régions », qui correspondent chacune à un univers observable (l'horizon cosmologique). Une copie identique du lecteur se trouve certainement dans une autre région, à une distance de l'ordre de $10^{10^{29}}$ mètres.

On peut estimer que la copie identique la plus proche de nous se trouve à une distance d'environ $10^{10^{29}}$ mètres. À environ $10^{10^{91}}$ mètres de distance, il devrait exister une sphère d'un rayon de 100 années-lumière identique à celle centrée ici, de sorte que toutes les perceptions que nous aurons au cours du siècle prochain seront identiques à celles de nos homologues là-bas. À $10^{10^{115}}$ mètres de distance, il devrait exister un volume entier de Hubble identique au nôtre. Il s'agit d'une estimation consistant simplement à compter tous les états quantiques possibles qu'un volume de Hubble peut avoir sans dépasser une température de 10^8 K. Chacun de ces 10^{115} emplacements peut être soit occupé, soit inoccupé, ce qui donne $2^{10^{115}}$ possibilités. Ce nombre peut s'écrire sous la forme d'une puissance de 10 extrêmement grande, que l'on peut noter $10^{10^{115}}$ à l'échelle des ordres de grandeur considérés ici[114].

Le multivers de type 3 sert de cadre opératoire courant pour éprouver les modèles cosmologiques contemporains. Ainsi, les mesures du fond diffus cosmologique indiquent une géométrie spatiale quasi plate, ce qui écarte un modèle d'univers ouvert. Cette quasi-platitude euclidienne est attribuée au modèle dans sa globalité, incluant l'infinité des volumes de Hubble qu'il comporte, bien que l'observation du fond diffus cosmologique ne concerne directement que notre propre volume.

Le multivers de type 4

Son statut ontologique est un multivers quantique modal bloc (l'interprétation des mondes multiples d'Everett). Il désigne la multiplicité des versions coexistantes d'un même monde. Le mode de variation est une variation d'état.

Si l'on considère le fait que les équations fondamentales de la mécanique quantique décrivent une superposition qui ne s'effondre pas, alors il apparaît que l'univers (le nôtre, l'univers spatial) se ramifie en univers parallèles chaque fois qu'un événement quantique semble avoir une issue aléatoire. Toutes les issues possibles se produisent en réalité, une dans chaque « branche » de ces univers parallèles. C'est le multivers de type 4 (appelé aussi « mondes multiples d'Everett »).

[114] Toutes ces estimations chiffrées sont de Tegmark, 2004.

La mécanique quantique a révolutionné la physique en expliquant le monde atomique. Ses applications sont nombreuses et accompagnent la justesse de ses prédictions : chimie, réactions nucléaires, lasers, semi-conducteurs… Sans la quantique, pas d'ordinateur, pas de smartphone, pas de voyage dans la Lune.

Pourtant, la pleine compréhension de la mécanique quantique n'est pas évidente. Elle donne lieu plutôt à des « interprétations », qui portent sur l'objet mathématique appelé *fonction d'onde*. L'équation de Schrödinger, nous dit que cette fonction d'onde évolue au cours du temps, selon un modèle de superposition.

Concrètement, si on imagine une particule décrite par une fonction d'onde, celle-ci donne les probabilités de la trouver ici ou là. L'équation de Schrödinger dit comment cette *onde de probabilité* se transforme avec le temps. L'évolution superposée signifie deux choses : (1) la probabilité totale reste toujours égale à 100 % (si on additionne toutes les chances possibles de trouver la particule quelque part, on obtient toujours 100 %)[115] ; (2) l'évolution est continue et entièrement déterminée (si on connait exactement l'état de la particule à un instant donné, les équations fixent sans ambiguïté ce que sera cet état un instant plus tard).

C'est comme une onde à la surface de l'eau : sa forme change, elle se déforme, interfère, se propage, mais il n'y a pas de saut brutal. Elle évolue en douceur selon des règles précises. Il en est de même, pour une particule quantique, sa fonction d'onde se propage, se déforme et interfère dans l'espace des possibles sans jamais « choisir » brutalement une position ou un état particulier tant qu'aucune interaction de mesure n'intervient.

Cet espace des états possibles est ce qu'on appelle en mathématique un *espace de Hilbert*. C'est un espace mathématique abstrait dans lequel, pour chaque état quantique, la fonction d'onde n'est rien d'autre que la représentation de cet état de la particule. Par exemple la représentation des positions ou celle des impulsions, de la

[115] En probabilité, un résultat est toujours compris entre 0 % et 100 %. Une probabilité de 0 % signifie qu'un événement est impossible, tandis qu'une probabilité de 100 % signifie qu'il est certain. Les valeurs intermédiaires indiquent le degré de probabilité de l'événement : plus la valeur est proche de 100 %, plus l'événement est probable ; plus elle est proche de 0 %, moins il l'est.

vitesse. Tant qu'il n'y a pas de mesure (tant qu'il n'y a pas de détection de la particule), la fonction d'onde peut rester dans une superposition concernant l'état de la particule. Par exemple, la particule est « ici et là » en même temps.

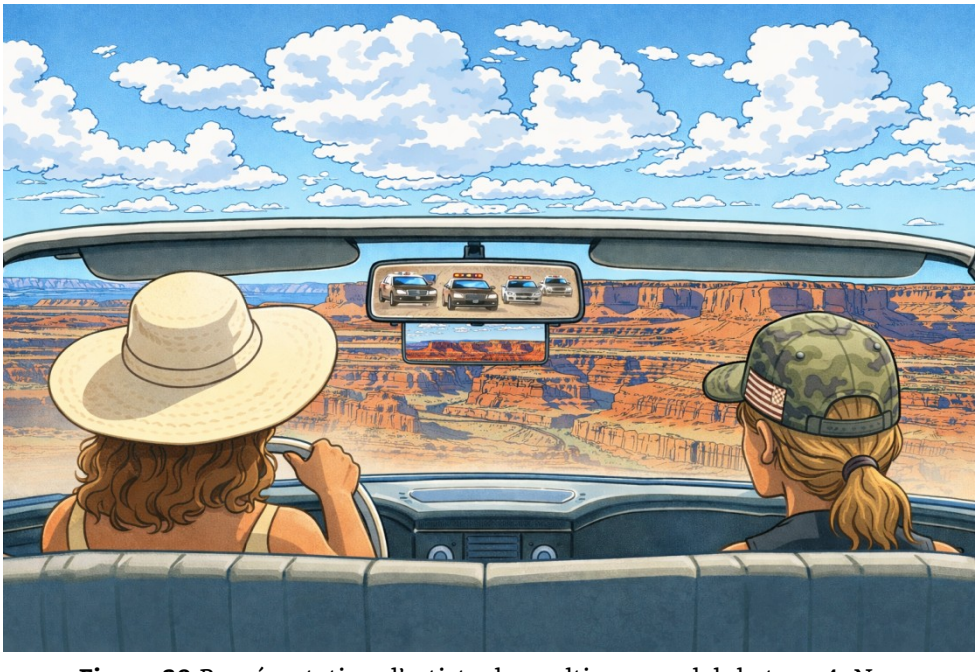

Figure 38 Représentation d'artiste du multivers modal de type 4. Nos deux célèbres jeunes femmes sont à la racine de deux embranchements du multivers everettien, symbolisés par les rétroviseurs. Elles ont le choix entre : la police les poursuit et elles se jettent dans le Grand Canyon ; elles font demi-tour, pour se rendre aux autorités, laissant le précipice derrière elles.

L'évolution superposée ne choisit pas entre « ici » ou « là » ; elle fait évoluer la superposition elle-même. Le caractère problématique apparaît seulement quand on parle de mesure, car le résultat mesuré, lui, est unique, alors que l'évolution superposée, elle, ne supprime aucune possibilité. De même, la particule peut être décrite comme ayant plusieurs impulsions possibles en même temps, la fonction d'onde contenant simultanément différentes valeurs d'impulsion qui peuvent interférer entre elles.

Si on adopte l'interprétation des mondes multiples d'Everett, la particule, qui est « ici et là », rencontre un détecteur[116], mais au lieu d'obtenir ensuite soit : (A) « particule ici + détecteur indiquant ici », soit (B) « particule là + détecteur indiquant là », la situation reste superposée, (A) et (B) coexistent dans l'état global du système particule + détecteur. Mais, le système évolue alors vers deux branches autonomes : (A) « particule et détecteur ici » et (B) « particule et détecteur là ». Du point de vue de l'état global, rien n'a disparu : (A) et (B) coexistent comme deux branches d'univers distinctes, rendues indépendantes par un processus appelé *décohérence*.

Deux remarques importantes : (1) chaque branche correspond à un état global de l'univers, pas seulement à une région locale ; (2) la ramification ne concerne pas uniquement la particule et le détecteur, mais l'ensemble des systèmes corrélés par l'interaction. Cela inclut les conséquences internes dans le dispositif (par exemple le déclenchement d'un « piège à chat »), un enregistrement informatique ou vidéo, et jusqu'à l'état cérébral d'un observateur humain qui perçoit le résultat[117] et, finalement, l'univers entier.

Actuellement les dispositifs expérimentaux testent la perte de cohérence, non seulement avec des particules, par exemple, des milliards d'électrons dans un dispositif supraconducteur (qubits), mais aussi avec des paquets de milliers d'atomes. Rien, dans ces résultats, ne donne un accès direct à des « branches » réelles d'univers parallèles. Aucune expérience ne permet de trancher entre

[116] Ce peut être un électron passant par une double fente et interférant avec lui-même (comme une onde) à la sortie de la double fente. Un détecteur peut alors être l'écran fluorescent où l'impact de l'électron produit un point lumineux. Dans d'autres dispositifs, le détecteur peut être une chambre à brouillard où le passage d'une particule laisse une traînée de condensation, une photodiode qui transforme l'absorption d'un photon en courant électrique, etc.

[117] Le remplacement systématique et abusif, dans les magazines ou dans les documentaires de vulgarisation, des termes « détecteur » par « observateur » ou encore « détecter », « mesurer » par « observer », a nourri le mythe tenace de l'influence de la pensée sur la matière et sur les particules, donnant lieu à toute une mystique quantique. Et non ! La pensée de l'observateur n'a aucune influence sur la matière, même pas sur une particule.

« il y a réellement plusieurs mondes » et « il n'y en a qu'un seul ». Mais la théorie décrit les choses comme si plusieurs possibilités coexistaient[118].

Le multivers de type 4 n'apporte rien de nouveau par rapport aux multivers de type 2 et 3. Théoriquement, il s'agit seulement de copies supplémentaires et indiscernables des mêmes univers, les mêmes scénarios se répétant inlassablement dans d'autres branches quantiques.

Le multivers de type 4 implique qu'il existe différentes manières dont certaines situations peuvent se produire. Il correspond à la superposition d'un ensemble infini d'états quantiques, tous étant des translations temporelles différentes d'un même état, de sorte qu'un *Big Bang* se produit à des moments différents dans différentes branches quantiques. Tous les instantanés possibles de l'univers existent à chaque instant. Il en résulte que le passage du temps n'est qu'une illusion, une question de perception[119].

EN CONCLUSION

Le tableau (voir plus loin) montre l'emboîtement des quatre multivers constituant la totalité ce qui est. Cette logique d'emboîtement consiste, en partant du bas, en un multivers de type 4 emboîté dans un multivers de type 3, les deux emboîtés dans un multivers de type 2, l'ensemble emboîté dans un multivers de type 1, chaque multivers étant infini. On notera que dans une lecture synthétique du tableau, plus on descend de 1 vers 4, plus le cadre reste stable et plus la variation se restreint. D'abord structurelle, elle devient paramétrique, puis configurationnelle, enfin simplement événementielle.

Il est à noter que ce tableau montre bien l'articulation d'un multivers à l'autre, mais encore l'ensemble, limité, des caractéristiques de chaque multivers qu'il transmet aux multivers suivants. Ainsi, il est bon de préciser, qu'au-delà des caractéristiques présentes dans ce tableau, d'autres caractéristiques sont absentes.

---

[118] Tegmark, Wheeler, 2001.

[119] Une idée explorée dans le roman de science-fiction de Greg Egan (1996), *La cité des permutants*, et développée par Deutsch (1997), Barbour (2001) et d'autres.

Figure 39 Libre représentation d'artiste de l'emboitement des quatre multivers dans un contexte, à l'évidence, de culte maya.

Il s'agit des caractéristiques que l'on pourrait appeler « exotiques », comprenant des univers marqués, par exemple, par l'illogisme, le contradictoire, l'incohérence, et qui pourraient être pourvus, en plus, d'une géométrie baroque. En un épithète, des multivers aux univers **impossibles**. Le possible devient alors la caractéristique de l'Être, de ce qui est, et l'impossible devient le signe du néant, de ce qui n'est pas.

Ernst G. Straus, assistant d'Einstein à Princeton dans les années 1940, raconte qu'au cours d'une discussion sur les lois fondamentales, Einstein aurait formulé ainsi son interrogation : « Ce qui m'intéresse vraiment, c'est de savoir si Dieu avait le moindre choix dans la création du monde. »[120] Le sens de cette interrogation n'est pas théologique, mais épistémologique : Einstein s'interroge sur le degré de nécessité des lois physiques. Les constantes, les équations, la structure même des interactions fondamentales sont-elles contraintes par une cohérence logique profonde, ou bien auraient-elles pu être différentes ? Autrement dit, existe-t-il une unique

[120] Straus, 1979.

théorie mathématiquement cohérente décrivant le réel, ou un espace de théories possibles ?

Emboîtement des quatre multivers

Multivers de type 1 — Mathématique

Ce qui est à la base : la cohérence logique interne de chaque structure ; les axiomes propres à la structure considérée ; l'identité formelle de cette structure.

Ce qui varie selon les structures : les lois fondamentales elles-mêmes ; la forme des équations ; les constantes ; la dimensionnalité ; la signature métrique ; la topologie globale ; la nature des objets fondamentaux ; l'existence ou non du temps ; le type même de dynamique.

Commentaire : une variation de structure qui déterminera les multivers 2, 3 et 4. L'architecture mathématique change. Les autres multivers sont alors des sous-ensembles internes à certaines structures particulières.

Multivers de type 2 — Inflationnaire global éternel

Ce qui reste inchangé : le méta-cadre théorique (relativité générale ou équivalent, la mécanique quantique, le champ inflationnaire, le principe d'expansion) ; la structure mathématique globale.

Ce qui change : les constantes effectives ; les paramètres de couplage ; le contenu en champs ; les symétries brisées ; éventuellement la dimensionnalité effective ; l'histoire thermique locale ; la topologie possible des bulles.

Commentaire : une variation de paramètres au sein d'une même théorie inflationnaire. Les bulles sont des solutions différentes d'un même système d'équations.

Multivers de type 3 — Spatial post-inflationnaire

Ce qui reste inchangé : les équations et lois fondamentales ; les constantes ; la physique locale ; la structure inflationnaire antérieure ; le cadre relativiste-quantique.

Ce qui change : les conditions initiales locales ; les configurations de matière ; les réalisations contingentes (la distribution des galaxies, les trajectoires des objets dans l'espace, les histoires locales).

Commentaire : une variation d'états dans un même univers global infini. Répétition du même et multiplication du possible par extension spatiale.

Multivers de type 4 — Quantique modal bloc

Ce qui reste inchangé : les caractéristiques sont identiques au type 3, mais la physique suit une évolution superposée.

Ce qui change : les résultats des processus quantiques ; les décompositions en branches ; les configurations macroscopiques issues de la décohérence.

Commentaire : une variation d'issues au sein d'un même état global. Les branches ne diffèrent pas par leurs lois, mais par l'actualisation des amplitudes de la fonction d'onde.

Imaginons un univers totalement fantaisiste, émanant d'un multivers hautement exotique, donc réputé impossible. Disons une géométrie en forme de Mickey Mouse, avec dix-huit dimensions spatiales, deux dimensions temporelles, sans inflation, avec une loi de la relativité totalement étrange, la gravitation y devenant lévitation et la lumière zigzaguant à seulement 342,123456789 kilomètres à l'heure (enfin, lorsqu'il y a des heures !). Et cet univers est dans un multivers non-inflationnaire de type 2. Donc, il est tout seul, émanant d'un multivers de type 1 tout aussi fantaisiste, dans lequel les équations mathématiques sont remplacées par une infinité de *toons*[121]. En émergent ainsi des univers Mickey Mouse, Dingo, Donald Duck, Pluto, Bugs Bunny, Titi et autres Tom et Jerry… avec leurs galaxies, étoiles et planètes biscornues, ces dernières habitées par des êtres capables de défier les semblants de lois de la physique leur permettant d'être immortels, avec un corps élastique, indestructible, pouvant se dupliquer en dizaines d'exemplaires, pouvant apparaître en plusieurs endroits à la fois, tomber de très haut et survivre, passer à travers les murs (en ne laissant qu'un trou de la forme de sa silhouette), survivre à des explosions, des aplatissements, respirer dans l'eau et dans l'espace vide, faire apparaître des objets du néants, etc.

Ni Blanqui, ni Lewis, ni Einstein, ni Newton, n'ont prévu un tel univers. Les univers obéissent donc à une loi implicite de bonne convention, de tradition, de classicisme. Chez nous on ne fait que dans le possible : « On fait le possible immédiatement ; pour l'impossible, ça prendra un peu de temps ». Nous sommes donc forcément limités dans ce qu'on peut imaginer d'univers et de multivers.

Toute cohérence impose des contraintes formelles. Le possible exige une absence totale de fantaisie. L'univers doit marcher au pas, la raie dans les cheveux du côté droit, l'uniforme impeccable, une, deux, une, deux… Un univers inflationnaire n'est pas librement imaginable : il doit être la solution d'un système d'équations consistant, typiquement une théorie relativiste des champs couplée à la gravitation. La dynamique d'inflation suppose une évolution compatible avec les équations. Toutes les combinaisons arbitraires de paramètres ou de géométries ne sont pas admissibles : beaucoup

[121] Personnages de dessins animés.

mèneraient à des instabilités, à des divergences non contrôlées ou à l'absence même de solution, donc à du néant, du « ça n'existe pas ».

Autrement dit, la cohérence mathématique agit comme un filtre. Dans le multivers de type 2, on varie à l'intérieur d'un cadre inflationnaire donné : seules les configurations compatibles avec cette théorie existent comme bulles possibles. On ne peut pas y insérer n'importe quelle fantaisie géométrique ou dynamique si elle n'est pas solution des équations du cadre inflationnaire. Pareillement, dans le multivers de type 1, la contrainte change d'échelle : on n'est plus limité par une théorie particulière, mais seulement par la consistance logique interne d'une structure mathématique. La liberté est plus grande, mais elle reste bornée par l'absence de contradiction. L'impossible guette encore.

Sans aller jusqu'aux extrêmes d'un multivers *toons*, peut-on, par exemple, envisager une inflation globale limitée à trois bulles ? Dans le cadre standard de l'inflation éternelle chaotique[122], la réponse est non. L'inflation éternelle repose précisément sur le fait que certaines régions continuent d'être en extension, pendant que d'autres « décrochent » en formant des bulles. Le volume total en inflation croît plus vite que le volume qui en sort : statistiquement, la production de bulles ne s'arrête donc jamais. On obtient alors une infinité de bulles.

Un scénario avec exactement trois bulles supposerait que l'inflation globale cesse partout après un nombre fini de transitions. Ce n'est plus de l'inflation éternelle au sens technique. Ce serait une inflation finie, globalement arrêtée, produisant un nombre limité de domaines. Ce type de modèle est concevable en théorie, mais il ne correspond pas au mécanisme d'autoreproduction exponentielle qui définit la physique de nos jours.

Où l'on se rend bien compte qu'en tirant plus ou moins trop fort les élastiques théoriques, se révèle un formalisme et une cohérence, comme nécessités, pour que ça marche. Il n'est même pas besoin de faire appel à un principe anthropique. L'anthropique nous saute à la figure ! Même une logique modale, limitée aux « mondes possibles » à la Lewis, est comme entravée dans une scolastique cosmique.

Plus on étire les possibles, plus la contrainte formelle réapparaît. On croit ouvrir l'espace des univers, et on découvre qu'il est structuré

[122] Linde, 1994 ; Tegmark, 2004.

par des conditions d'existence très dures : stabilité des solutions, cohérence des champs, existence d'états liés, régularité des équations. On n'a même pas encore parlé d'observateurs que déjà la mathématique impose un filtre drastique. L'anthropique faible devient presque trivial : seuls les domaines compatibles avec des structures complexes sont effectivement habités. Pas besoin d'ajouter un principe téléologique, la sélection tombe des équations elles-mêmes.

Quant à la logique modale à la David Lewis, elle paraît, au premier abord, infiniment libérale (tous les mondes possibles existent), mais elle reste inexorablement soumise à la consistance. Un monde contradictoire n'est pas possible. Même le réalisme modal est donc borné par une grammaire ontologique minimale. On peut multiplier les mondes, mais on ne peut pas abolir la cohérence.

Le tableau précédent montre l'architecture de ce qui est ; la suite en déploiera l'épaisseur. Car un univers ne se réduit pas à ses constantes, à ses équations ou à ses branches : il porte aussi, parfois, de la chimie, de la biologie, de la complexité auto-organisée et, dans certains domaines restreints, de la conscience. La question n'est donc plus seulement celle des structures possibles, mais celle des structures capables de produire des organismes, des systèmes nerveux, des mondes vécus. Ce que nous appelons « Omnivers » devra alors intégrer cette montée en complexité comme une propriété interne de certaines régions, sans rien ajouter aux lois, mais en explorant leurs conséquences jusqu'à l'émergence du regard posé sur elles.

Reste enfin l'hypothèse plus vertigineuse : et si l'ensemble lui-même obéissait à une structure récursive ? Si chaque multivers, emboîté dans le précédent, n'était qu'un niveau d'une organisation plus vaste encore, analogue à une figure fractale où le même motif logique se reproduit à différentes échelles ? Cet Omnivers ne serait plus seulement la totalité des univers cohérents, mais une architecture fractale de blocs emboîtés, une géométrie ontologique où la répétition du même et la multiplication du possible s'entrelacent indéfiniment. Ce qui formerait alors une trame hiérarchique infinie, stable dans ses principes, variée dans ses réalisations, et peut-être consciente en certains de ses replis.

Cinquième partie

L'OMNIVERS

1. Des fractales à l'inflation

En géométrie classique, la notion de dimension est simple et intuitive. Une ligne a une dimension 1 : on ne peut s'y déplacer que dans une seule direction, comme on suit un sentier étroit à flanc de montagne. Une surface a une dimension 2 : longueur et largeur, comme la surface d'un terrain de football que l'on parcours dans tous les sens. Un volume a une dimension 3 : longueur, largeur, hauteur, comme une salle de sport où l'on pratique le filet d'escalade. L'espace newtonien est précisément cet espace à 3 dimensions, homogène et continu, dans lequel les objets occupent un volume et se déplacent selon les lois de la mécanique. Les dimensions y sont entières, nettes, stables : 1, 2, 3.

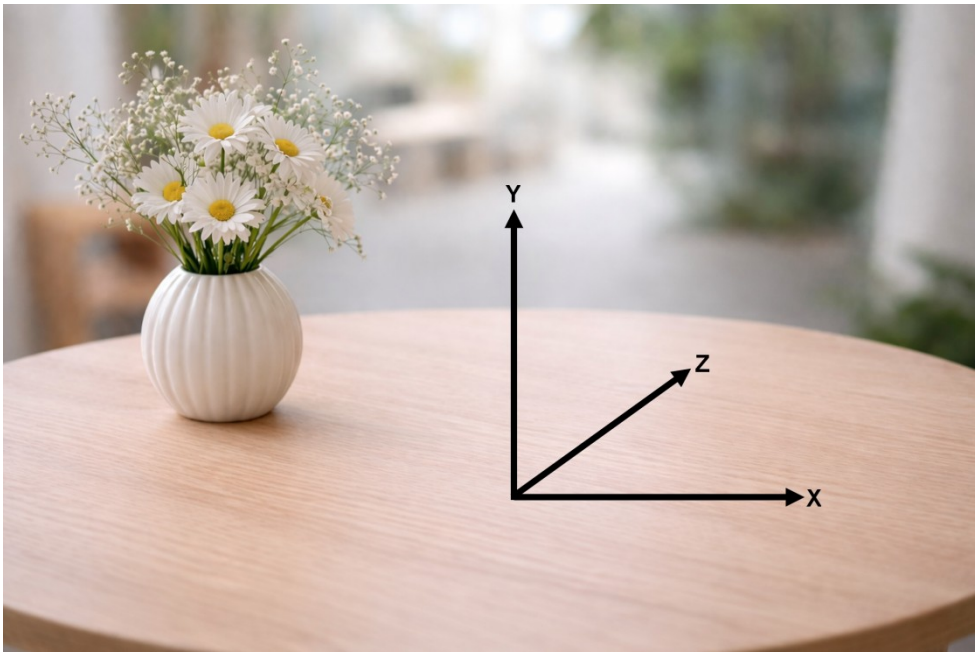

Figure 40 Le concept de dimensions en géométrie classique est simple à comprendre et correspond à notre expérience quotidienne.

Les fractales introduisent une idée déroutante : une dimension qui n'est plus entière. Un objet peut être « un peu moins qu'une ligne », ou « plus qu'une ligne » sans être une surface, ou « plus qu'une surface » sans être un volume plein. Sa dimension devient

fractionnaire. On l'écrit simplement D = un nombre non entier (décimal). Ce nombre mesure à quel point l'objet remplit l'espace. Plus D est grand, plus l'objet est dense dans l'espace où il vit. Par exemple, l'ensemble de Cantor. Il se construit en retirant indéfiniment le tiers central d'un segment. Il ne reste alors qu'une poussière infinie de points. Ce n'est plus une ligne continue (dimension 1), mais ce n'est pas non plus un simple ensemble discret. Sa dimension est D = 0,630929753. Il occupe « plus que rien », mais « moins qu'une ligne ».

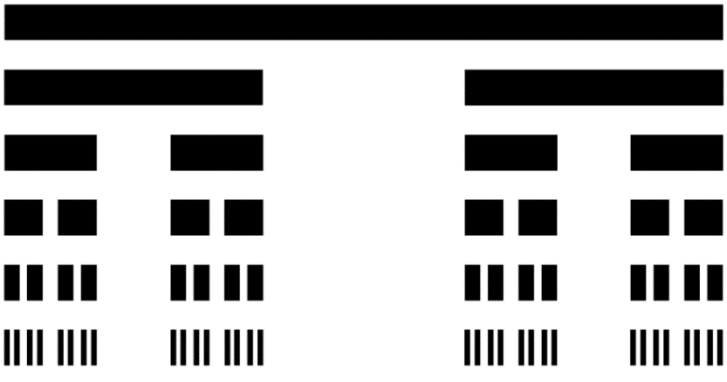

Figure 41 L'ensemble de Cantor, pour D = 0,630929753.

Autre exemple, la courbe de Koch. Elle part d'un segment dont chaque portion est remplacée par quatre segments plus petits. À chaque étape, la longueur augmente sans limite, mais l'objet reste contenu dans une région finie. Sa dimension est D = 1,261859507. Elle est plus complexe qu'une ligne ordinaire (D = 1), sans devenir une surface (D = 2).

Le triangle de Sierpiński, de son côté, se construit en retirant indéfiniment le triangle central d'un grand triangle subdivisé. Il se transforme alors, peu à peu, en une dentelle plane infiniment trouée. Sa dimension est D = 1,584962501. Il remplit davantage le plan qu'une simple courbe, sans atteindre la plénitude d'une surface.

Dernier exemple l'éponge de Menger. Elle est l'analogue tridimensionnel de l'ensemble de Cantor : on retire indéfiniment des cubes au centre d'un cube initial. L'objet devient infiniment perforé. Sa dimension est D = 2,726833028. Il est plus qu'une surface complexe, mais moins qu'un volume plein.

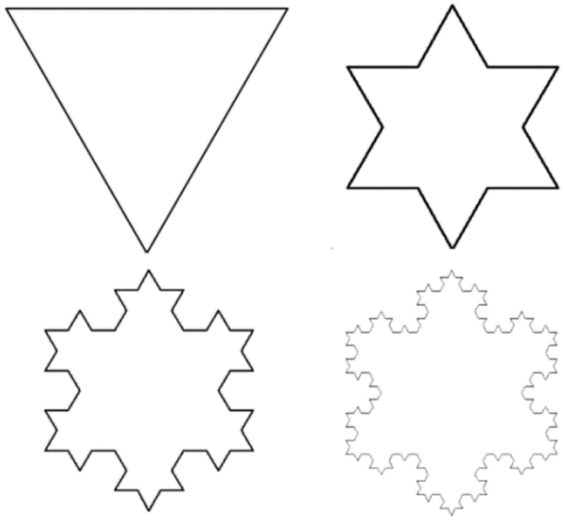

Figure 42 La courbe de Koch, pour D = 1,261859507.

Figure 43 Le triangle de Sierpiński, pour D = 1,584962501.

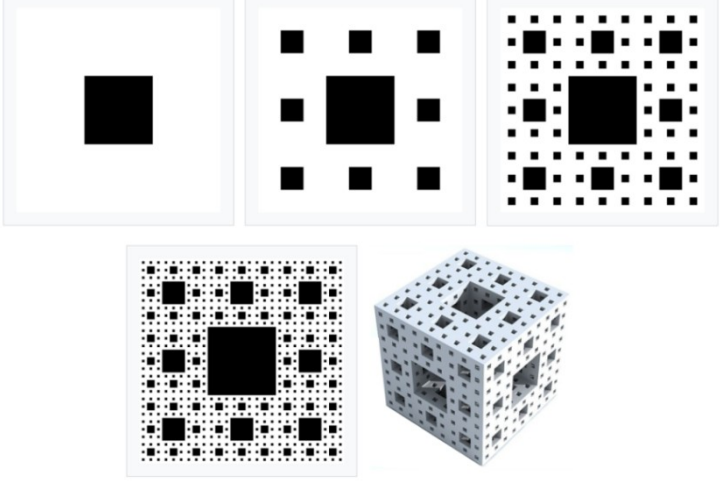

Figure 44 L'éponge de Menger, pour D = 2,726833028.

Ces exemples sont mathématiques, strictement autosimilaires : la même structure se répète à toutes les échelles, indéfiniment. Dans la nature, on observe des formes fractales approximatives (ramifications, rugosités, réseaux), mais seulement sur un intervalle limité d'échelles.

Concernant le cosmos, la question a été posée : la distribution des galaxies forme-t-elle une fractale à grande échelle ? Les observations actuelles indiquent que non. À petite échelle (amas, filaments, vides), la matière présente une structure hiérarchique et irrégulière, sans être pour autant fractale. Mais à très grande échelle, l'Univers devient statistiquement homogène : la dimension effective tend vers 3 (l'espace euclidien, dit « plat », infini, de notre quotidien). Autrement dit, il n'y a pas de fractale cosmique globale dans l'Univers observable. Il existe des structures hiérarchiques dans l'Univers, mais pas une fractale infinie de dimension non entière remplissant le cosmos.

Dans le cadre de l'inflation éternelle, l'idée de fractalité n'apparaît pas comme un résultat mathématiquement démontré au sens strict, mais comme une propriété géométrique suggérée par la dynamique même du mécanisme. Chez Vilenkin[123], l'expansion exponentielle du faux vide ne s'interrompt pas partout à la fois. Des régions « thermalisent »[124] et donnent naissance à des univers-bulles, tandis que d'autres continuent d'être en expansion. Ce processus se répète indéfiniment : à mesure que certaines zones cessent de s'étendre, le volume total encore en inflation croît plus vite qu'il ne disparaît. Il en résulte une structure extrêmement irrégulière, où des poches d'univers se forment à l'intérieur d'un fond en expansion permanente. La frontière entre régions en expansion et régions thermalisées devient de plus en plus découpée à mesure que le temps avance. Vilenkin évoque alors une géométrie de type fractal pour

[123] Vilenkin, 1983a.

[124] En cosmologie inflationnaire, on parle de thermalisation lorsqu'une région cesse d'être dominée par l'énergie quasi constante du champ d'inflaton (voir la note à la suite), que ce champ se désintègre en particules ordinaires et que l'énergie du vide se convertit en rayonnement et en matière. Cette phase correspond à un réchauffement : l'univers local devient un plasma chaud dense, analogue à celui du modèle standard du *Big Bang*. Une « bulle » qui thermalise est donc une région où l'inflation s'est arrêtée et où commence l'évolution cosmologique classique.

décrire cet enchevêtrement hiérarchique, sans en proposer une dimension calculée ni un formalisme détaillé.

Chez Linde [125], le scénario d'inflation chaotique, ou autoreproductrice, radicalise cette image. Les fluctuations quantiques du champ d'inflaton [126] font que certaines régions montent localement le potentiel au lieu de le descendre, prolongeant indéfiniment l'inflation dans ces domaines. L'Univers global devient alors un ensemble d'îlots thermalisés, enchâssés dans un océan d'inflation, lui-même en perpétuelle expansion. Linde parle explicitement d'une structure fractale du « tout », au sens d'une hiérarchie sans échelle caractéristique unique, issue d'un processus récursif d'autoreproduction. Là encore, il s'agit d'une analogie géométrique forte : la distribution spatiale des domaines en expansion et post-inflationnaires présente une autosimilarité statistique, mais la dimension fractale précise n'est pas l'objet central de l'analyse.

Dans ces travaux fondateurs, la fractalité est donc une idée structurante : elle traduit le fait que le mécanisme inflationnaire ne produit pas un simple ensemble de bulles juxtaposées, mais une arborescence spatiale enchevêtrée, où chaque région peut engendrer d'autres régions selon la même dynamique. Ce n'est pas une fractale « dans » un univers déjà donné, c'est une géométrie émergente du multivers inflationnaire lui-même, envisagé comme un processus sans fin. Autrement dit, il n'y a pas de fractale cosmique globale dans l'univers observable. Les observations du fond diffus cosmologique (satellites spatiaux COBE, WMAP et Planck) et des relevés de galaxies confirment cette homogénéité à très grande échelle.

Ainsi, si l'univers observable n'est pas une fractale, le cadre inflationnaire éternel suggère une fractalisation du « tout » cosmique, non pas dans les galaxies, mais dans la genèse même des domaines d'univers. C'est cette esquisse géométrique qu'il faudra approfondir lorsqu'il s'agira de penser une fractale omniverselle.

---

[125] Linde, 1990.

[126] L'inflaton désigne le champ hypothétique responsable de la phase d'inflation cosmique primordiale. C'est l'énergie potentielle associée à ce champ qui aurait provoqué l'expansion exponentielle de l'espace.

2. La fractale omniverselle

Précision terminologique : nous entendons bien par « omnivers » l'ensemble des quatre multivers emboîtés : mathématique, inflationnaire, spatial et modal.

De la hiérarchie à la fractale

Au-delà de Linde et Vilenkin, il n'y a pas eu d'autres développements de l'inflation fractalisée. Aucune révolution conceptuelle majeure. La « fractalité » de l'inflation éternelle n'est pas un principe fondamental posé au départ, mais une simple conséquence géométrique du mécanisme d'autoreproduction.

Dans les années 1990-2000, la question des probabilités dans l'inflation éternelle a permis de préciser la structure globale de l'univers inflationnaire, qui reste de type hiérarchique, avec un ensemble de domaines thermalisés enchâssés dans un fond en expansion. Certains travaux [127] ont calculé explicitement la dimension fractale de l'ensemble des régions encore en inflation, montrant qu'elle est inférieure à 3. La fractalité devient alors un objet technique, lié aux mesures de volume, plutôt qu'une simple métaphore. Là encore, le mécanisme des transitions par nucléation de bulles dans un espace en expansion exponentielle produit une structure arborescente, statistiquement autosimilaire. La fractalité est implicite dans la dynamique du paysage, mais rarement mise en avant comme thème central.

Plus récemment, les recherches se concentrent surtout sur la cohérence observationnelle (contraintes du fond diffus cosmologique mesuré notamment par le télescope spatial Planck), sur la stabilité des modèles inflationnaires et sur les questions de mesure et de prédictibilité. L'idée d'une structure fractale du multivers inflationnaire n'a pas été abandonnée, mais elle n'a pas non plus donné lieu à une théorie géométrique autonome pleinement formalisée. Elle demeure une conséquence robuste du scénario d'inflation éternelle : si le processus d'autoreproduction est correct, la géométrie globale est hiérarchique et de type fractal.

---

[127] Vilenkin, 1982.

Ainsi, envisager une fractale omniverselle est-il d'un autre ordre. Une telle fractale ne porte pas sur la texture spatiale d'un seul multivers inflationnaire, mais sur l'emboîtement ontologique des niveaux eux-mêmes, sur une récursivité structurelle entre multivers de tous les types. On peut alors parler d'une fractalité méta-structurelle, comme la répétition du schème « cadre stable + variation interne » à différentes échelles logiques, et non pas simple autosimilarité géométrique dans un espace 3D.

Par « cadre stable », nous entendons un ensemble de règles ou de structures qui ne varient pas à l'intérieur d'un niveau donné (les lois physiques, l'espace-temps, les constantes, la structure mathématique, etc.) À l'intérieur de ce cadre, il existe une variation interne (les états initiaux différents, les configurations de matière différentes, les fluctuations quantiques, les paramètres effectifs, les bifurcations et mondes multiples everettiens). La « répétition du schème », dans la fractale omniverselle, signifie donc que, à chaque niveau, on retrouve la même architecture logique : un contenant relativement invariant qui autorise une pluralité de réalisations internes. Il ne s'agit pas d'une autosimilarité de formes dans l'espace, mais d'une autosimilarité de structures conceptuelles.

Autrement dit, la littérature inflationnaire nous fournit ici une analogie partielle, mais non un fondement direct. Pour aller plus loin, il nous faut formaliser la récursivité des multivers d'univers-blocs comme propriété d'inclusion stable à chaque niveau, indépendamment de la seule inflation. Ce procédé théorique n'est pas interdit par la physique actuelle, simplement, ce n'est pas encore un modèle établi.

L'ensemble infini des bulles d'inflation en nombre infini et de taille infinie, ainsi que les bulles qui ont pu émerger en *Big Bang* et univers structuré, cet ensemble forme un bloc fractal. Bloc dans lequel, il n'y a pas de commencement, d'écoulement ou de fin du temps. Les *Big Bangs* des univers inflationnaires sont comme des explosions[128] avec arrêt sur image. Ce bloc inflationnaire global est donc constitué d'une infinité de bulles en expansion et de régions post-inflationnaires semblables à celle que nous habitons, formant globalement une structure fractale. Pour rappel, l'étude du fond diffus cosmologique montre qu'il n'y a pas de fractalisation dans un

[128] Explosion est ici une image. Les *Big Bangs* ne sont pas des explosions.

multivers de type 3, donc au niveau des régions spatiales infinies en nombre infini, c'est-à-dire dans notre univers. Les univers spatiaux peuvent être ainsi considérés comme des unités répétitives dans la fractale.

Fractale : mode d'emploi

Dans le cadre d'une fractale omniverselle, l'unité fractale ne doit pas être cherchée du côté d'une forme géométrique simple (comme, par exemple, le triangle de Koch), mais du côté d'un bloc ontologiquement complet. Nous allons donc définir comme unité la bulle-univers issue du multivers inflationnaire de type 2, entendue non comme simple domaine spatial, mais comme bloc espace-temps intégralement thermalisé.

Dans le cadre de l'omnivers, l'unité fractale n'est donc pas toute bulle issue de l'inflation éternelle, mais spécifiquement une bulle ayant quitté le régime d'expansion inflationnaire pour entrer en phase de thermalisation, c'est-à-dire un univers de type *Big Bang*. L'inflation éternelle engendre une arborescence de domaines en expansion, mais seuls certains sous-domaines voient l'énergie du vide se convertir en particules et rayonnement, stabilisant des constantes et initiant une dynamique cosmologique classique. Ce sont ces bulles thermalisées, blocs d'espace-temps complets, dotés d'une histoire interne, que nous allons retenir comme unités fractales.

Cette bulle-univers comprend : un jeu déterminé de constantes physiques, un contenu en champs et particules stabilisé après l'inflation locale, une dynamique cosmologique propre (expansion, structuration gravitationnelle, entropie), une extension spatiale ergodique (répétition du même et multiplication du possible) relevant du type 3, et des ramifications modales quantiques relevant du type 4. Elle constitue ainsi un sous-ensemble cohérent et autosuffisant du point de vue physique. L'unité fractale omniverselle n'est donc pas un point, ni une région, mais un bloc complet capable d'engendrer en son sein la répétition du même et la multiplication du possible. Elle est génératrice d'emboîtements : spatialement par répétition ergodique et modalement par décohérence.

À l'échelle supérieure, une infinité de telles bulles (les bulles qui s'expansent et celles qui thermalisent) est elle-même incluse dans

une structure mathématique de type 1 distincte parmi une infinité d'autres structures possibles.

Ainsi définie, la bulle-univers thermalisée de type 2 devient la brique élémentaire de la fractale omniverselle : un bloc capable de se retrouver, sous des variations paramétriques ou structurelles, à travers une infinité de réalisations mathématiques.

La méthode de déploiement à partir de l'unité est la suivante : une bulle-univers inflationnaire complète, bloc espace-temps thermalisé contenant en elle les niveaux 3 et 4. La fractalisation consiste alors non à la copier mécaniquement, mais à appliquer récursivement la même logique d'inclusion à chaque niveau.

Étape 1 : Déploiement interne ($2 \supseteq 3 \supseteq 4$)[129]. À l'intérieur de la bulle (type 2), l'ergodicité spatiale (type 3) réalise la répétition du même et la multiplication du possible : dans un espace suffisamment vaste, toutes les configurations compatibles avec les lois locales se réalisent. À l'intérieur de chaque région, la dynamique quantique unitaire engendre une ramification modale (type 4) : chaque événement indéterminé du point de vue classique correspond à une coexistence de branches. La bulle contient donc déjà une arborescence interne.

Étape 2 : Réplication inflationnaire (2 à nouveau). Le régime d'inflation éternelle produit d'autres bulles, chacune avec ses paramètres éventuellement distincts (constantes, brisure de symétrie, contenu en champs). Chaque nouvelle bulle reproduit la structure $2 \supseteq 3 \supseteq 4$. L'autosimilarité apparaît ici : une unité engendre des unités structurellement analogues.

Étape 3 : Variation mathématique ($1 \supseteq 2$). Chaque ensemble cohérent de bulles inflationnaires est inclus dans une structure mathématique donnée (type 1). Mais il existe une infinité de structures mathématiques distinctes. Pour chacune, si les conditions le permettent, une hiérarchie inflationnaire analogue peut exister. La fractalisation atteint alors son niveau supérieur : non seulement

[129] Le symbole $\supseteq$ (inclusion) indique ici une relation d'emboîtement hiérarchique : un multivers de type 1 contient des multivers de type 2, qui contiennent eux-mêmes des multivers de type 3, eux-mêmes contenant des multivers de type 4. Il ne s'agit pas d'un ordre de grandeur ou de valeur, mais d'une relation d'inclusion entre niveaux de structure.

répétition de bulles dans une structure, mais répétition de structures contenant des hiérarchies de bulles.

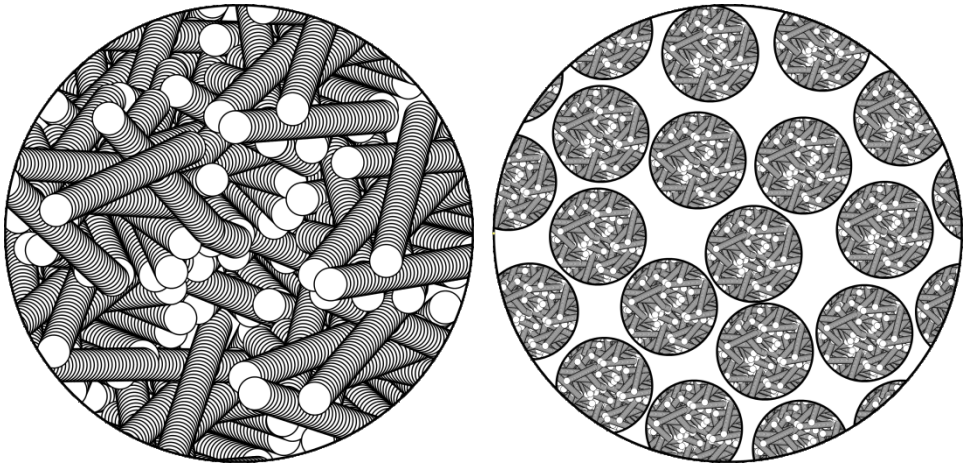

Figure 45 À gauche, un multivers quantique modal de type 4, everettien, contenant la multiplicité des versions coexistantes d'un même monde, nécessaire aux hypothèses quantiques. À droite, un multivers spatial de type 3, contenant une infinité de « régions » (volumes de Hubble ou univers observables), résultant de l'extension spatiale d'un même univers post-inflationnaire et impliquant la répétition statistique des configurations matérielles.

La méthode générale est donc la suivante : identifier une unité complète ; expliciter sa structure interne d'emboîtement ; montrer que cette structure peut être reproduite à un niveau supérieur par variation de paramètres ; puis itérer conceptuellement cette inclusion jusqu'au niveau mathématique. Pour rappel, l'autosimilarité ne porte jamais sur la forme géométrique, mais sur la règle d'engendrement : inclusion d'ensembles contenant eux-mêmes des ensembles hiérarchisés selon le schéma $1 \supseteq 2 \supseteq 3 \supseteq 4$.

La fractale omniverselle n'est ainsi rien d'autre que la répétition récursive d'une même loi d'emboîtement ontologique, appliquée à des contenus variables.

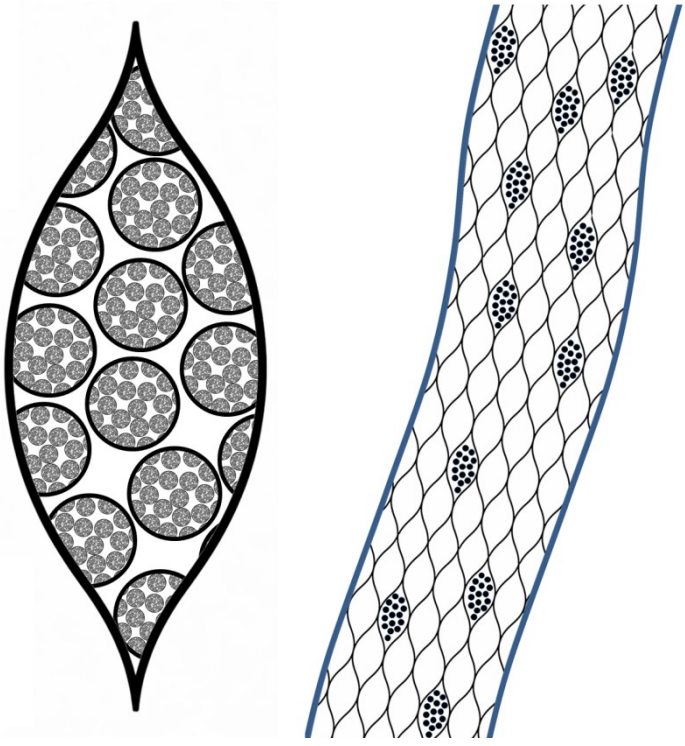

Figure 46 À gauche, un multivers inflationnaire global de type 2, contenant la multiplicité des multivers spatiaux, nécessaire aux hypothèses d'inflation chaotique globale éternelle. À droite, un multivers mathématique de type 1, incluant l'infinité des univers inflationnaires et nécessaire à la conjecture des univers contigus (voir plus loin).

Le tableau complet de la fractale omniverselle

Sous la forme d'un « bloc », comme on dit « univers-bloc », donc hors de toute temporalité (le temps n'en étant qu'une des dimensions dans certaines de ces unités), la fractale omniverselle contient toute la trame temporelle passé-présent-futur de l'omnivers.

À l'avant-plan, occupant pratiquement toute la surface, se trouvent les blocs de type 1, symbolisant des structures mathématiques en nombre infini. Ils ne sont pas alignés en grille, mais distribués comme des « noyaux », chacun autonome, chacun définissant un cadre logique complet. Chaque noyau de type 1 engendre en son sein une zone d'expansion interne correspondant au type 2. Visuellement, on peut les figurer comme des régions émanant de chaque bloc mathématique.

Dans ces régions apparaissent les blocs de type 2, correspondant aux régimes inflationnaires. Leur dynamique est arborescente. Des bulles se détachent du fond inflationnaire en nombre infini. La plupart restent de simples domaines en expansion, mais certaines thermalisent. Ce sont elles qui se densifient visuellement dans le tableau, devenant des sous-structures plus nettes, plus contrastées.

Chaque bulle thermalisée constitue un bloc de type 3, soit un univers spatial initié par un *Big Bang* et une inflation interne. À l'intérieur, la surface se granule. L'ergodicité spatiale (la répétition du même et la multiplication du possible) produit une répétition de configurations. Le motif s'affine, comme lorsqu'on zoome, découvrant de plus en plus de détails. Le tableau suggère cette répétition par une texture interne récurrente.

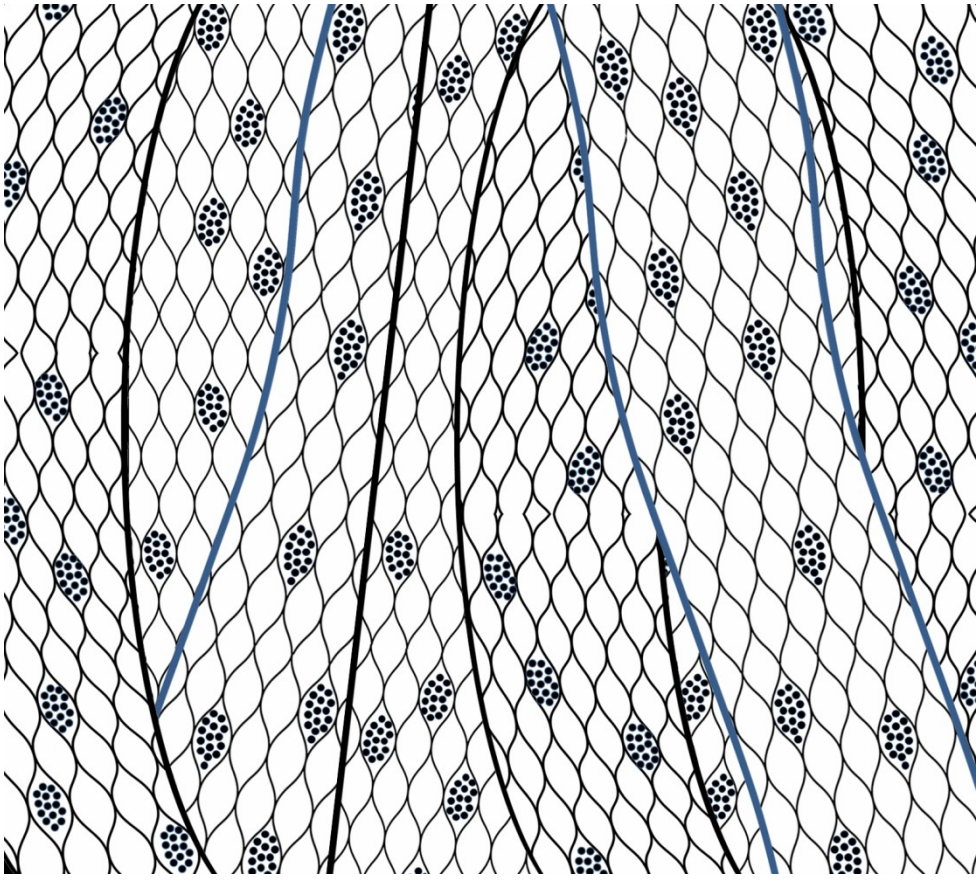

Figure 47 Représentation d'un omnivers fractal infini (ou fractale omniverselle), composé de l'ensemble des structures du multivers mathématique.

Enfin, à l'intérieur de chaque région spatiale, la structure se subdivise encore en blocs de type 4. Ce ne sont plus des expansions géométriques, mais des dédoublements modaux en chaînes. Visuellement, cela correspond à des micro-ramifications translucides, superposées, plutôt qu'étalées, évoquant une prolifération interne plutôt qu'un éclatement externe.

Le tableau entier donne ainsi l'impression d'un déploiement en profondeur : des colonnes de structures mathématiques (type 1), des arborescences inflationnaires (type 2), des sphères thermalisées structurées (type 3), puis des subdivisions modales fines (type 4). L'autosimilarité ne réside pas dans la forme répétée, mais dans le principe : chaque niveau engendre une multiplicité interne qui devient le support du niveau suivant.

La touche finale

Comment vivre l'expérience de pensée d'être à l'intérieur de la fractale omniverselle ? Pour ce faire nous allons à nouveau faire appel à la démone de Laplace. Imaginons que nous rencontrions la démone de Laplace qui, usant de son extraordinaire superpouvoir, va nous servir de guide cosmique au sein même de la fractale omniverselle. Ainsi entrainés par la démone, que verrons-nous ?

Pour pouvoir peindre visuellement ce tableau de la fractale génératrice omniverselle, explorant tous les possibles, nous nous sommes inspirés de l'une des fractales vidéo « Sapphires »[130], en particulier celle indiquée en note, une variante d'un ensemble de Mandelbrot, produisant des structures en rosaces bleutées, autosimilaires, avec répétition de motifs en éventail. Une fractale complexe, obtenue par répétition dans le plan des nombres complexes, où un motif central se réplique à différentes échelles avec des déformations locales, mais une signature globale reconnaissable.

[130] Le lecteur intéressé pourra trouver la fractale vidéo qui nous a inspiré ici : https://youtu.be/8cgp2WNNKmQ. Copyrights Olbaid ST (https://bit.ly/3ZUgApy) et Maths Town (https://bit.ly/46rV6E1).

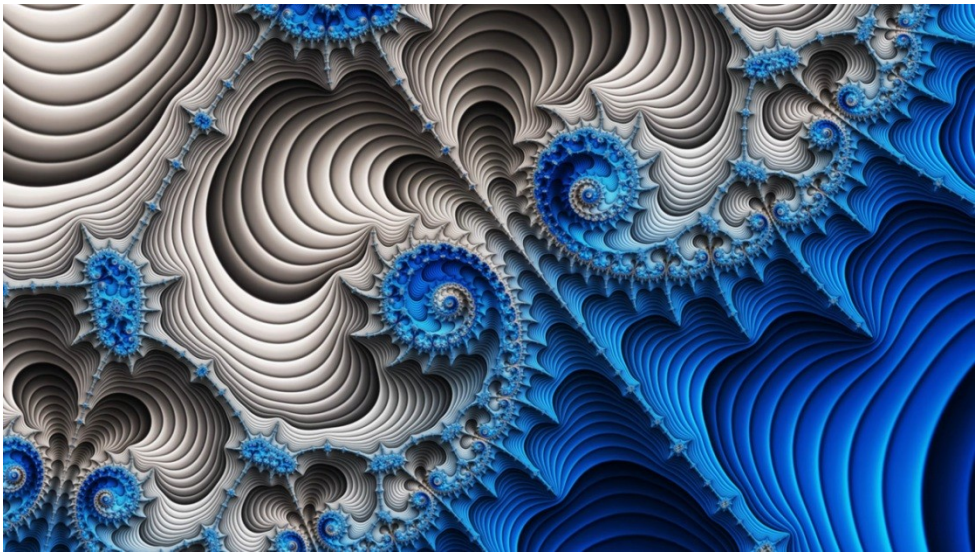

Figure 48 Une copie d'écran de la fractale vidéo « Sapphires ».

Nous ne prétendons pas à une stricte isomorphie entre la fractale omniverselle et ce qui se déroule dans cette vidéo. Il convient simplement d'y voir une source d'inspiration visuelle. On peut, par exemple, à la seconde 23 de la vidéo, se figurer les gros bourrelets gris comme des multivers de type 1. Au fur et à mesure que la démone nous entraîne plus profondément dans la fractale omniverselle, nous nous enfonçons dans des configurations répétitives. Seconde 55, à l'intérieur des types 1 s'étagent les multivers de type 2, couleur saphir, dont toutes les bulles s'empilent à l'infini. Il ne nous reste plus qu'à imaginer, dans chaque bourrelet saphir (à 1 minute, 6 secondes, par exemple), un multivers de type 3, puis de type 4 et une galaxie appelée Voie Lactée et une planète appelée la Terre et nous-mêmes, quelque part sur cette planète et peut-être ressentirons-nous le vertige d'être quelque part dans cette fractale omniverselle infinie…

En résumé, si la fractale omniverselle est pensée comme un empilement compact de blocs intégralement constitués : de structures mathématiques engendrant des régimes inflationnaires, de bulles thermalisées, d'univers spatiaux et de ramifications modales, alors rien n'impose que ces blocs soient isolés au sens fort. Leur contiguïté devient concevable : non pas comme communication ordinaire entre univers, mais comme voisinage topologique au sein d'une architecture globale dense.

Dans une telle configuration, deux ou plusieurs univers, qui sont adjacents dans le bloc, pourraient ne pas être absolument étanches l'un à l'autre. Leur contiguïté ne se réduirait pas à un simple voisinage géométrique, mais renverrait à une proximité structurelle susceptible d'autoriser des influences faibles, des corrélations résiduelles ou des effets de bord à la frontière de leurs domaines respectifs.

L'hypothèse des univers contigus naît ainsi de la vision fractale omniverselle compacte : un omnivers dense où les blocs ne sont pas séparés par un néant ontologique, mais juxtaposés dans une continuité supérieure, de sorte que certaines interactions, non attribuées à une source interne, pourraient prendre leur source dans des influences émanant d'univers contigus.

La conjecture des univers contigus

Depuis la fin du 20e siècle, la cosmologie observationnelle a mis au jour une dissymétrie profonde entre ce que nous voyons et ce que les équations exigent. Les vitesses de rotation des galaxies, la dynamique des amas et les effets de lentille gravitationnelle révèlent un excès de gravité que la matière visible ne suffit pas à produire. Pour rendre compte de ce surplus, on introduit la matière dite « noire » : non pas observée directement, mais inférée comme composant gravitationnel dominant.

À cette énigme s'en ajoute une autre, plus déstabilisante encore. L'étude des supernovæ lointaines et du fond diffus cosmologique indique que l'expansion de l'univers n'est pas seulement en cours, mais de plus accélérée. Une composante à pression négative, qualifiée d'énergie « sombre », est alors postulée pour expliquer cette accélération.

En outre, dans le cadre inflationnaire, matière noire et énergie sombre ne sont pas des ajouts tardifs, mais des composantes intégrées à l'évolution globale issue de la phase d'inflation primordiale. L'inflation fixe les conditions initiales : quasi-platitude spatiale, spectre presque invariant d'échelle des fluctuations et distribution des germes de structure. Après la thermalisation et l'ère de domination radiative, la matière noire (supposée froide et faiblement interactive) amplifie, par instabilité gravitationnelle, les fluctuations initiales produites durant l'inflation, permettant la

formation hiérarchique des halos[131] et des galaxies. Elle est ainsi cohérente avec le scénario inflationnaire, dont elle exploite les conditions initiales.

Concernant l'énergie sombre, dans le cadre inflationnaire, il faut distinguer deux phases d'expansion accélérée séparées par l'histoire thermique et gravitationnelle de l'univers. La première phase, l'inflation primordiale, intervient extrêmement tôt, entre environ 10^{-36} et 10^{-33} seconde, étendant l'univers d'un facteur de 10^{26}, juste après le *Big Bang*. Elle est attribuée à l'énergie potentielle d'un champ scalaire à très haute énergie et explique la quasi-platitude spatiale, ainsi que le spectre des fluctuations initiales. Après la thermalisation, l'univers entre dans les ères dominées par le rayonnement puis par la matière. Bien plus tard, lorsque la densité de matière diluée par l'expansion devient inférieure à une composante à pression négative, une seconde phase d'accélération apparaît : celle que l'on attribue de nos jours à l'énergie sombre, souvent modélisée par une constante cosmologique Λ ou par un champ scalaire de très basse énergie (énergie du vide). Ainsi, inflation primordiale et accélération tardive sont deux régimes distincts d'expansion accélérée, encadrant l'évolution dominée par la matière noire, sans que le modèle inflationnaire ne précise encore la nature microscopique de ces deux composantes.

Dans le modèle cosmologique standard, ces deux composantes représentent la majeure partie du contenu énergétique du cosmos (énergie sombre ≈ 72 % ; matière noire ≈ 23 %), tandis que la matière ordinaire (étoiles, gaz, planètes) n'en constitue qu'une fraction minoritaire ($\approx 4{,}6$ %). Ainsi, la cosmologie contemporaine repose sur des entités principalement définies par leurs effets dynamiques, non par une observation directe. Les épithètes « noire » et « sombre » ne sont donc pas descriptifs, mais une façon presque poétique de marquer notre ignorance. La question n'est plus seulement de mesurer l'univers, mais d'identifier la nature réelle de ce qui en gouverne l'évolution.

[131] Des structures gravitationnellement liées, dominées par la matière noire, qui se forment par amplification des fluctuations primordiales après l'inflation et durant l'ère dominée par la matière.

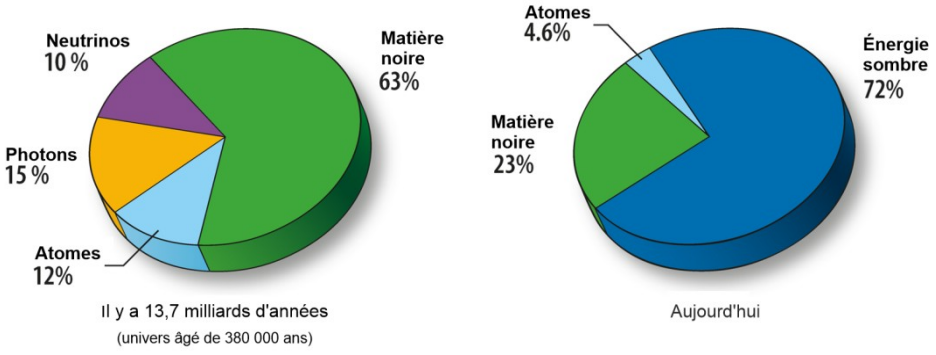

Figure 49 Compositions de l'univers en éléments fondamentaux, dont les hypothétiques matière noire et énergie sombre, à 380 000 ans après le *Big Bang* et aujourd'hui.

C'est là que la conjecture des univers contigus propose de remplacer cette ignorance par une causalité externe, issue du voisinage fractal des blocs. Pour ce faire, la conjecture avance cinq hypothèses :

(1) Hypothèse de la contiguïté fractale : notre univers est bien dans un omnivers-bloc de nature fractale et plein, entraînant la proximité et le contact entre univers.

(2) Hypothèse d'absence : il n'y a pas de particules correspondant à la matière noire ; il n'y a pas de champ correspondant à l'énergie sombre.

(3) Hypothèse des effets inter-univers : excès de gravitation et expansion de l'espace sont les conséquences de la présence des univers contigus à notre univers.

(4) Hypothèse du contact des horizons : il y a une influence inter-géométrique entre univers contigus.

(5) Hypothèse de l'influence gravitationnelle : les univers contigus peuvent produire des sites de nucléation[132] d'une matière apparente.

[132] Par analogie, le terme de « nucléation » est issu de la physique des transitions de phase : un système peut rester longtemps homogène (liquide surrefroidi, solution sursaturée) jusqu'à ce qu'apparaisse un germe qui déclenche la formation de bulles, de cristaux ou d'une nouvelle phase. On parle alors de nucléation.

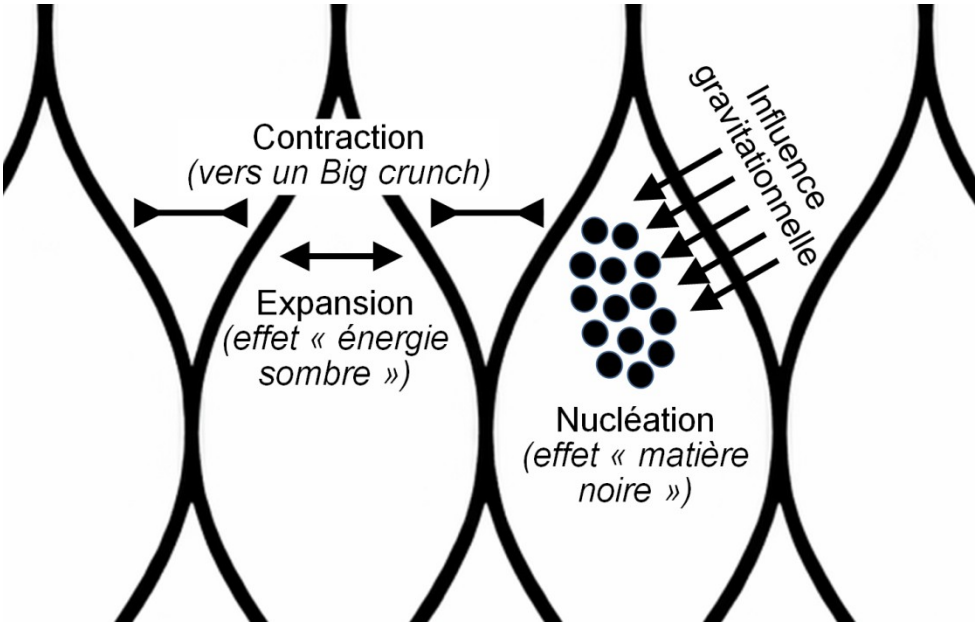

Figure 50 Schéma illustrant la conjecture des univers inflationnaires contigus. Sur la gauche, les liens hypothétiques entre des univers en contraction et un univers en expansion, par effet géométrique ; à droite, l'influence gravitationnelle d'un univers sur un autre, par nucléation (effet « matière noire »), comme première étape vers la matière-énergie-gravitation.

Ainsi formulée, la conjecture des univers contigus opère un déplacement ontologique : au lieu de postuler des entités nouvelles internes à notre bloc (particules de matière noire ou champ d'énergie sombre) elle attribue les effets observés à une causalité externe, issue du voisinage fractal d'autres univers-blocs en contact géométrique avec le nôtre. Si ces influences inter-univers, notamment gravitationnelles, rendaient effectivement compte des signatures aujourd'hui attribuées à la matière noire et à l'énergie sombre, alors ces dernières cesseraient d'être des « substances » pour devenir des effets d'interface. En ce sens, l'explication des anomalies dynamiques et de l'accélération cosmique par des interactions inter-géométriques constituerait, en retour, un argument indirect, mais puissant, en faveur de l'existence effective d'un omnivers fractal : les multivers ne seraient plus une extrapolation spéculative, mais la condition explicative minimale des phénomènes mesurés dans notre propre univers.

Figure 51 Comment envisager la frontière entre deux univers contigus ? Peut-être tout simplement avec de l'humour ? Soudain, un panneau de signalisation, au fin fond d'un univers profond de Hubble. Un escalier à la Maurits Cornelis Escher symbolisant parfaitement la relativité de cette frontière invisible. Alors, attention à la marche !

EN CONCLUSION

Tous les auteurs scientifiques[133] qui abordent la question du multivers prennent bien soin de préciser que les univers qui le

[133] On trouve autant de scientifiques pour défendre (Lee Smolin, Don Page, Brian Greene, Max Tegmark, Alan Guth, Andrei Linde, Michio Kaku, David Deutsch, Leonard Susskind, Alexander Vilenkin, Yasunori Nomura, Raj Pathria, Laura Mersini-Houghton, Neil deGrasse Tyson, Sean Carroll, Stephen Hawking) la thèse du multivers, que pour s'en montrer sceptiques (Sabine Hossenfelder, David Gross, Paul Steinhardt, Anna Ijjas, Abraham

composent, au-delà de leur genèse, sont séparés les uns des autres et présentent une étanchéité logique et physique empêchant tout passage d'un univers à un autre (à l'exception du multivers modal everettien). La conjecture des univers contigus ne dit pas le contraire et ne propose que des influences inter-univers, géométriques et gravitationnelles. À partir de là, on peut se demander comment se présente l'interface entre deux univers contigus. Est-ce un mur invisible ? Une sorte de brouillard ? Une porte dans l'espace ? Ou rien, un simple panneau de signalisation pour vous avertir qu'au-delà de cette limite vous changez d'univers. En tout cas, la question de l'interface reste entière.

La fractale omniverselle ne constitue pas un simple motif descriptif ajouté à la cosmologie contemporaine ; elle en propose une reformulation d'ensemble. En passant de la hiérarchie des structures à une organisation fractale des blocs, l'omnivers cesse d'être une juxtaposition de niveaux pour devenir une géométrie d'inclusions ontologiques, où chaque univers est à la fois totalité locale et fragment d'une structure plus vaste.

Le tableau complet en révèle la cohérence interne : répétition du même, multiplication du possible, emboîtement des cadres physiques et variation des paramètres ne s'y opposent plus, mais se distribuent selon une logique d'autosimilarité.

La touche finale, avec la conjecture des univers contigus, introduit un principe dynamique minimal à l'intérieur même du bloc fractal : les effets attribués à la matière noire et à l'énergie sombre pourraient relever d'interactions d'interface entre géométries adjacentes. Si une telle perspective devait s'avérer féconde, elle transformerait une architecture spéculative en exigence explicative, faisant de la fractale omniverselle non plus une image métaphysique, mais un cadre susceptible d'absorber les énigmes actuelles de la cosmologie. Et, peut-être, en retour, nous apporter des preuves empiriquement testables de la présence d'univers contigus au nôtre.

Loeb, David Spergel, Neil Turok, Viatcheslav Mukhanov, Michael S. Turner, Roger Penrose, George Ellis, Joe Silk, Carlo Rovelli, Adam Frank, Marcelo Gleiser, Jim Baggott, Paul Davies).

Sixième partie

DE L'ENTROPIE À LA CONSCIENCE

1. La biologie et la conscience

Le paradoxe de Fermi[134] naît en 1950 d'une question simple : si l'Univers contient des centaines de milliards d'étoiles dans la seule Voie lactée, dont une fraction significative possède des planètes, et si les processus physiques et chimiques sont universels, alors l'émergence de la vie (puis de civilisations technologiques) ne devrait pas être un événement unique.

Même en supposant des vitesses d'expansion modestes, une civilisation capable de voyages interstellaires pourrait coloniser la galaxie en un temps court à l'échelle cosmique, quelques millions d'années. Or nous n'observons ni artefacts, ni sondes, ni signaux indubitables. La question attribuée à Enrico Fermi (« Où sont-ils ? ») cristallise ainsi cette contradiction entre probabilité attendue et silence observé.

Les réponses proposées se distribuent en trois familles. Soit la vie intelligente est extraordinairement rare : l'un des maillons, biologique ou culturel, constituerait un « grand filtre », presque infranchissable. Soit les civilisations sont fréquentes, mais brèves, s'autodétruisant ou perdant l'intérêt de l'expansion. Soit, enfin, elles existent, mais demeurent indétectables : distances, choix délibéré de discrétion, modes de communication incompatibles avec nos instruments, ou encore coexistence sans interaction perceptible. Le paradoxe ne démontre rien. Il balise un espace d'ignorance, à l'interface entre astrophysique, biologie évolutive et sociologie des civilisations.

Frank Drake[135] a formulé, en 1961, l'équation qui porte son nom, initiant la recherche scientifique de signaux extraterrestres. Il est l'un des fondateurs du programme SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*[136]) et dirigea le projet Ozma, première tentative moderne de détection de signaux radio artificiels provenant d'étoiles proches.

Son équation n'était pas destinée à produire un nombre fiable, mais à structurer le problème en facteurs distincts, afin de

---

[134] Physicien, lauréat du prix Nobel de physique en 1938.

[135] Radioastronome.

[136] Recherche pour une intelligence extraterrestre.

transformer une question spéculative (combien de civilisations communicantes dans la Voie lactée ?) en un cadre de recherche quantifiable. Drake a également joué un rôle central dans la conception du message d'Arecibo en 1974, tentative symbolique de communication interstellaire.

L'intérêt de l'équation de Drake est méthodologique : rendre explicites les inconnues, situer les ordres de grandeur et stimuler l'observation. À l'époque, plusieurs termes de l'équation étaient quasi spéculatifs. Depuis, la découverte massive d'exoplanètes a contraint les premiers facteurs, tandis que les termes biologiques et sociotechniques demeurent ouverts. L'équation de Drake fonctionne ainsi comme un programme de recherche plus que comme un calcul, articulant astrophysique et contingence évolutive dans une même structure multiplicative.

La variété des paramètres physiques dans le cadre de l'inflation chaotique éternelle, produisant le multivers de type 2, peut entrainer la possibilité ou pas d'une apparition de la vie et possiblement de la conscience[137]. Quelques exemples : la masse d'une étoile, qui peut varier de 10^{29} à 10^{32} kg. Or la fourchette très étroite permettant la vie sur une planète tournant autour d'une étoile réduit la masse de cette étoile (un soleil) entre $1{,}6 \times 10^{30}$ kg à $2{,}4 \times 10^{30}$ kg, pour rendre possible une planète ni trop chaude (comme Vénus) ni trop froide (comme Mars)[138]. Il convient évidemment d'ajouter à la masse de l'étoile la distance orbitale de la planète en question, ni trop proche (Vénus) ni trop éloignée (Mars). Autre exemple, si la force électromagnétique était affaiblie de seulement 4 %, les étoiles (dont le Soleil) exploseraient immédiatement. Si elle était plus forte, il y aurait moins d'atomes stables, ce qui ne permettrait pas non plus la formation d'étoiles.

Comme autres exemples de paramètres pouvant modifier considérablement la stabilité des atomes, la possibilité d'éjection des éléments lourds d'une étoile en formation (nova), la présence de structures ordonnées comme les cristaux et les molécules d'ADN. À partir de là, les possibilités biologiques dans un univers de multivers

[137] Le lecteur aura compris que nous ne nous intéressons pas aux extraterrestres « en soi », mais aux possibilités de vies conscientes, hors l'humain, dans l'univers.

[138] Voir : Rees, 2001 ; Davies, 1982 ; Barrow, Tipler, 1975.

de type 2 sont : au niveau atomique, une interaction faible plus ou moins faible ou forte ; une masse des protons plus ou moins élevée ; des protons plus ou moins lourds ; un rapport de masse proton/électron plus ou moins élevé affectant la stabilité des étoiles. Tous ces paramètres, qui influencent la physique des basses énergies, doivent être finement ajustés à un certain niveau, permettant ou non l'apparition du biologique sur de possibles planètes, ce qui différencie les différents univers du multivers inflationnaire de type 2.

De plus, dans un modèle de *Big Bang*, l'apparition des galaxies, des étoiles et de leurs planètes ne concerne qu'une fraction plus ou moins limitée de l'espace dans cet univers de *Big Bang*, avant qu'il y ait soit une expansion infinie avec une dissolution de tous les atomes (expansion éternelle), soit une recontraction vers un *Big Crunch*. Donc il n'y a qu'une courte période cosmique propice pour qu'apparaisse éventuellement la biologie, si les paramètres de l'univers le permettent.

Ne pas oublier non plus que, même dans un univers où tous les paramètres sont ajustés pour permettre la vie, l'apparition de la vie va dépendre de multiples autres paramètres plus locaux, propres à la configuration du système solaire en question. Selon les systèmes solaires, biologie et vie consciente peuvent dépendre, nous l'avons vu, de l'orbite de la planète, plus ou moins proche de son étoile. Mais encore de la présence d'une lune orbitant autour de la planète.

Si l'on considère l'exemple de la planète Terre, la présence d'une lune massive agit à plusieurs niveaux dynamiques et géophysiques. D'abord, la stabilisation de l'obliquité terrestre : sans couple gravitationnel exercé par la Lune sur le renflement équatorial, l'axe de rotation de la Terre serait beaucoup plus sensible aux perturbations planétaires, notamment celles de Jupiter, avec des variations chaotiques d'inclinaison susceptibles d'induire des régimes climatiques extrêmes. Une obliquité relativement stable limite les excursions thermiques globales et favorise une continuité des niches écologiques sur des échelles de temps longues.

Ensuite, les marées. Le forçage tidal lunaire produit des cycles réguliers d'inondation et d'assèchement dans les zones littorales. Ces gradients physico-chimiques, avec concentration périodique des solutés, sont souvent invoqués dans les scénarios prébiotiques comme des environnements propices à la polymérisation et à la

compartimentation[139]. Même si des alternatives existent (sources hydrothermales profondes), les marées constituent un mécanisme efficace de mise en contact, de mélange et de sélection chimique en zones continentales sèches.

La Lune a également contribué à l'évolution rotationnelle de la Terre : le freinage tidal a allongé progressivement la durée du jour. Une rotation initialement très rapide, issue de l'impact géant, s'est ralentie vers des périodes compatibles avec des cycles thermiques moins brutaux et une dynamique atmosphérique plus stable. Enfin, l'impact qui a formé la Lune a probablement participé à la différenciation interne de la Terre, à la formation d'un noyau métallique massif et donc à l'existence d'un champ magnétique durable, protégeant la surface contre le vent solaire et l'érosion atmosphérique. Notre satellite naturel peut légèrement détourner ou intercepter certains corps, son rôle protecteur contre les impacts restant toutefois limité. La Lune n'est donc pas une condition nécessaire démontrée de la vie, mais elle cumule plusieurs effets stabilisateurs susceptibles d'en faciliter l'émergence et la persistance.

Où situer la conscience ?

Depuis le 17e siècle, une tradition philosophique importante soutient que la conscience ne peut être réduite aux processus matériels. La formulation classique en est donnée par René Descartes[140], qui distingue deux substances irréductibles : la *res extensa*, c'est-à-dire la matière étendue dans l'espace, et la *res cogitans*, la substance pensante. Dans ce cadre dualiste, l'esprit ou la conscience possède une nature différente de celle du monde physique et ne peut donc pas être expliqué par les lois de la matière. Cette séparation ontologique entre esprit et corps a profondément marqué la philosophie occidentale et se retrouve, sous des formes variées, dans de nombreuses approches spiritualistes ou idéalistes ultérieures. Malgré les progrès des sciences du cerveau, ce courant persiste encore aujourd'hui chez certains philosophes ou théoriciens

[139] Deux processus essentiels dans les scénarios d'apparition de la vie. La polymérisation correspond à l'assemblage de petites molécules organiques en chaînes plus longues. La compartimentation désigne la formation de structures délimitant un milieu intérieur distinct du milieu extérieur.

[140] Descartes, 1984.

de l'esprit[141], qui estiment que l'expérience subjective, la conscience vécue, ne peut être entièrement dérivée des mécanismes matériels.

À la différence des « spiritualistes » à la Descartes, rien n'interdit, en principe, d'élargir le cadre d'une réflexion sur le « problème difficile » de la conscience[142], vers la physique fondamentale et la cosmologie. Cependant, cela revient à modifier la nature même de ce problème.

Une première voie consiste à supposer que les lois physiques contiennent, à un niveau encore inaperçu, des variables ou des structures liées à l'expérience consciente. La conscience ne serait plus un produit émergent local, mais une propriété corrélée à certaines organisations de la matière, inscrites dans la trame ontologique du monde. Dans ce cas, la cosmologie fixe les conditions globales de possibilité : constantes fondamentales, structure de l'espace-temps, dynamique de l'information. Ces approches du problème de la conscience sont avant tout philosophiques et physico-métaphysiques plutôt qu'empiriques, à l'instar de Chalmers qui propose explicitement que l'expérience consciente soit considérée comme une propriété fondamentale, au même titre que la masse ou la charge des particules, dans le cadre d'une « psychophysique fondamentale ». Ou encore la théorie de Philip Goff[143], selon laquelle la conscience est une propriété fondamentale et omniprésente du monde physique. Pour Alfred North Whitehead[144], chaque « occasion d'expérience » possède un pôle physique et un pôle expérientiel, inscrivant la proto-expérience dans la structure même du réel. Enfin, Galen Strawson[145], défend un physicalisme incluant l'expérience consciente comme constituant fondamental de la matière.

[141] Henri Bergson, Thomas Nagel, Colin McGinn, Galen Strawson, Jean-Luc Marion, sans nécessairement poser un dualisme strict à la Descartes, ces auteurs maintiennent l'idée que la conscience possède une dimension irréductible aux seules descriptions matérielles.

[142] Chalmers, 2010.

[143] Goff, 2019.

[144] Whitehead, 1995.

[145] Strawson, 2006.

Du côté physico-cosmologique, Roger Penrose [146], avance l'hypothèse d'un lien entre conscience et structure fondamentale de la gravitation quantique. John Archibald Wheeler[147], de son côté, suggère que la structure informationnelle du cosmos est constitutive de la réalité physique elle-même. Sa formule « it from bit »[148] signifie que les entités physiques (particules, champs, espace-temps) dérivent, en dernière analyse, d'actes informationnels élémentaires, c'est-à-dire de réponses binaires issues d'interactions de type mesure. Autrement dit, ce ne sont pas les « choses » qui sont premières, mais les événements d'enregistrement, les distinctions binaires 1/0 qui actualisent des propriétés. La matière, la géométrie, et même les lois, émergent ainsi d'un réseau fondamental d'actes informationnels. Enfin, dans une veine explicitement cosmologique, Max Tegmark[149], identifie la réalité à une structure mathématique. Si l'expérience consciente existe, elle doit alors correspondre à une propriété interne de certaines structures.

Ces auteurs ne convergent pas sur une théorie unique, mais constituent l'arrière-plan conceptuel de l'idée selon laquelle la conscience pourrait être enracinée dans la physique fondamentale et, par extension, dans la cosmologie.

Une seconde voie explore l'idée que la conscience dépend de propriétés informationnelles profondes (une structure de l'espace de Hilbert, la décohérence quantique, la complexité intégrée) ce qui relie indirectement le problème à la physique quantique et à la structure cosmique globale. Cela ne résout pas l'écart explicatif, mais le reformule comme une question d'architecture informationnelle permise par les lois fondamentales, mobilisant physique quantique, théorie de l'information et théories formelles de la conscience.

Pour Giulio Tononi[150], la conscience correspond à une structure informationnelle causale intrinsèque caractérisée par une quantité formelle d'information produite par le système. Dans la théorie de l'information intégrée, la conscience correspond précisément à cette

[146] Penrose, 1992, 1995.

[147] Wheeler, 1990.

[148] « Ça vient des bits d'information. »

[149] Tegmark, 2014.

[150] Tononi, 2008.

structure causale intrinsèque. À nouveau, Max Tegmark[151], propose que certains états physiques, décrits dans l'espace de Hilbert, possèdent des propriétés informationnelles spécifiques associées à l'expérience consciente. Roger Penrose et Stuart Hameroff formulent l'hypothèse dite « Orch-OR » (*Orchestrated Objective Reduction*)[152]. Des superpositions quantiques se produiraient dans les microtubules neuronaux[153], dont la structure permettrait une cohérence quantique transitoire. Les réductions objectives successives constitueraient des événements proto-expérientiels élémentaires et leur organisation neuronale donnerait lieu à des états conscients[154].

La question d'une biologie consciente ailleurs que sur Terre se heurte d'abord à un fait brut : le silence. Malgré les efforts déployés par Frank Drake et les premiers programmes comme SETI ou Ozma, aucun signal, aucune trace, aucun artefact ne sont venus rompre le vide observationnel. Pourtant, les conditions d'apparition de la vie ont été disséquées avec une précision croissante, depuis les paramètres cosmologiques les plus précoces (inflation, constantes fondamentales, structure des fluctuations primordiales), jusqu'aux contraintes physico-chimiques d'une planète tempérée analogue à la Terre. L'ajustement requis apparaît étroit, et il est effectivement réalisé ici, chez nous ; mais pourquoi il l'est demeure sans réponse.

C'est alors que certains déplacent la question vers le lien entre matière et conscience. Si la vie est rare, la conscience le serait plus encore ; si elle existe, elle doit s'enraciner dans l'organisation du réel. Les théories prolifèrent : information intégrée, architectures causales, espaces de Hilbert, décohérence, microtubules neuronaux. Les noms sont illustres, les formalismes sophistiqués. Pourtant, mêler conscience et matière, conscience et cosmos, s'avère aussi rétif que de vouloir mélanger l'eau et l'huile. Le recours au concept d'information éclaire des structures, mesure des corrélations, mais n'abolit pas l'écart entre organisation et phénoménalité. Même la physique quantique est convoquée pour donner à la pensée une

[151] Tegmark, 2015.

[152] Réduction objective orchestrée.

[153] Les microtubules neuronaux sont de microscopiques tubes creux que l'on trouve dans les neurones. Ils assurent, entre autres choses, le transport intracellulaire.

[154] Hameroff, Penrose, 2014.

assise fondamentale. René Descartes s'amuserait sans doute de voir sa « glande pinéale »[155] remplacée par des microtubules neuronaux.

Mais peut-être l'impasse vient-elle d'un présupposé. Nous cherchons la conscience comme une chose dans le monde, alors que nous sommes déjà dans un univers-bloc dont elle fait partie. Si le cosmos est un bloc spatio-temporel complet, la conscience n'y surgit pas comme un supplément ontologique : elle en constitue une ligne d'univers parmi d'autres. Elle ne crée ni le temps ni le mouvement. Elle semble bien plutôt les « lire », les « scanner », donnant à la structure globale l'apparence d'un écoulement. Le « problème difficile » change alors de face : il devient celui de notre anthropocentrisme. Quelle importance accorder à une structure neuronale qui, à l'échelle cosmique, ne dure que quelques dizaines d'années pour un individu, quelques centaines de milliers d'années pour une humanité, dans un univers dont l'histoire s'étend sur plusieurs milliards d'années entre *Big Bang* et destin thermique ?

Ainsi, la conscience, loin d'être un centre cosmique, apparaît comme une modulation locale dans la géométrie du bloc. Peut-être faut-il cesser de vouloir la débusquer comme une entité et la comprendre comme un effet interne de cette structure globale, un mode de lecture inscrit dans la dynamique inflationnaire et la complexification de la matière. Le « problème difficile » ne disparaît pas ; il se déplace. Il ne s'agit plus d'expliquer comment la matière produit l'expérience, mais comment, dans un univers déjà donné, certaines lignes d'univers prennent la forme d'une illusion de présence et de flux.

[155] Dans le cadre de son dualisme matière/esprit, René Descartes situait, en effet, le siège de la conscience dans cette glande cérébrale, la seule à ne pas présenter une bilatéralité droite/gauche.

2. La conscience et l'entropie

Si, au premier abord, la conscience nous paraît un phénomène insaisissable et inspirant de multiples spéculations, une réflexion sur l'articulation entre univers-bloc et neurobiologie peut nous sauver du « problème difficile » qu'elle semble représenter pour de nombreux auteurs. L'expédition de sauvetage ira tout d'abord à la rencontre de la scène cosmique où tout se passe. Puis, nous articulerons les liens entre conscience et entropie, ce qui nous conduira, finalement, au mythe de la conscience, non comme solution au problème difficile, mais comme son dépassement.

Excursion avec la démone

Attention ! Expérience de pensée. La démone de Laplace nous invite à visiter l'omnivers-bloc, tranche par tranche, en sa compagnie. Alors, allons-y ! Sortons du monde des phénomènes qui s'écoulent, extrayons-nous du bloc et réintégrons le bloc, désormais, comme « démons » amateurs, accompagnés d'une démone. Première impression : tout est immobile, figé. Un espace vide, mais nous sentons bien qu'il est empli… d'énergie !

– Qu'est-ce que c'est ?

– L'énergie du vide[156], nous dit la démone.

– Mais, nous ne voyons rien ?

Quand, soudain, dans la tranche suivante, nous voyons émerger un tout petit renflement, un boursouflement, comme une minuscule ondulation du vide.

– Regardez ! nous dit la démone, c'est la première bulle qui va émerger du vide. Ça ne fait que commencer !

---

[156] Une précision : en théorie quantique des champs, le « vide » de l'énergie du vide, n'est pas un néant, mais l'état fondamental d'un champ, qui possède une énergie minimale non nulle en raison des fluctuations quantiques. Il ne s'agit pas d'une énergie exploitable ni d'un réservoir caché, mais d'une propriété du formalisme des champs, dont l'effet macroscopique possible est discuté en cosmologie via la constante cosmologique. Désolé pour les rêveurs de YouTube !

L'ondulation se met à gonfler et, effectivement, cela devient une bulle.

– D'où vient-elle ? Pourquoi cette bulle primordiale ? De quoi est-elle faite ? Les questions se bousculent.

– Je vais vous raconter toute l'histoire, nous dit la démone. Faisons une petite pause, juste avant la suite.

Et la démone, avec un petit air mystérieux, comme une confidence, se mit à raconter l'histoire.

– Il était une fois cinq chevaliers : Proton, Neutron, Électron, Photon et Neutrino, qui s'entrechoquaient… frénétiquement ! C'est ça, mes loulous, la fournaise primordiale.

– Ah, bon ?! Avons-nous fait.

– Oui ! poursuit-elle. Par la suite, cette histoire devint un mythe, avec son énergie sombre et son inflaton… Attention ! nous prévient la démone. Ça va péter !

De la bulle primordiale s'échappe alors une autre bulle, puis une autre, une autre encore. Puis, de ces bulles, d'autres bulles en chapelets et en amas. Cela nous a rappelé la mousse expansée pour isoler les combles de la maison. Et plus on avance, avec la démone, et plus les tranches d'omnivers-bloc s'étendent à l'infini, emplies de bulles en nombre infini, formant des multivers-blocs infinis en nombre infini.

Nous nous interrogeons : « Mais comment se forment toutes ces bulles ? C'est incroyable ! »

Impossible de voir quoique ce soit, elles ne cessent de se multiplier, insaisissables. Alors la démone nous vient en aide, usant de ses pouvoirs.

– Stop ! Regardez ! Une bulle !

Nous voyons enfin UNE bulle.

– Vous voyez, celle-ci est sortie de l'inflation éternelle, c'est une bulle d'univers-bloc, dans l'un des multivers-blocs de l'omnivers-bloc.

Et, avec émotion, nous le reconnaissons, ce bébé bulle : « C'est la nôtre ! Que va-t-il se passer ? »

Nous voyons que le champ quantique de l'univers-bloc est d'abord un tout petit point, plus que microscopique, on ne peut pas plus petit.

– Pourquoi si petit ? Demandons-nous à la démone.

– C'est Planck qui l'a dit, répond-elle, et il n'y a rien d'autre à savoir.

– Planck ? Mon copain Planck… Et après ? Nous ne voyons pas grand-chose.

– C'est normal, explique la démone. Vous voyez ? Les cinq chevaliers ne cessent de s'entrechoquer, de se battre entre eux, alors ça forme comme un gaz parfait, très simple. Enfin… Pour le moment… On a eu chaud ! S'exclame la démone.

Chaleur et haute densité, pour un combat acharné entre les chevaliers, qui aurait pu durer indéfiniment. Mais…

– Attention ! S'écrie la démone.

Soudain, on y perd son latin.

– Regardez ! Un *Big Bang* !

Et tout de suite après, comme ça, d'un coup, une expansion gigantesque, en un clin d'œil, impossible à voir. Avant, il n'y avait rien et en un micro-instant il y eut un univers.

– Ouf ! fait la démone, nous nous en sommes bien sortis.

– Mais que s'est-il passé ?

Figure 52 À gauche, le physicien Erwin Schrödinger (1887-1961) et à droite, le physicien Max Planck (1858-1947), qui ont tous deux fondamentalement contribué à la mécanique quantique.

– C'est la faute à Schrödinger, sourit la démone.

– Mais c'est qui celui-là encore ?

– Je le connais, c'est un copain de Planck ! s'écrie l'un de nous plus malin que les autres.

La démone explique : « Il y a eu des fluctuations, des incertitudes, et ça a produit des différences de densité et de température. D'abord microscopiques, et puis voilà ! Pchiou ! L'univers-bloc ! », s'écrie-t-elle à son tour.

– Mais, comment cela se fait-il ? C'est si beau !

– C'est simple, répond la démone, docte, les fluctuations de Schrödinger, sont entrées en expansion avec le reste de l'expansion de l'Univers-Big-Bang-Bloc et c'est comme ça que ça a donné ce que nous voyons : la matière, les étoiles, les galaxies, les amas et les superamas de galaxies, toutes ces grandes structures.

– Comme c'est beau ! s'exclamons-nous, admiratifs et impressionnés.

– Le voyage est fini ! Les loulous ! C'est de là que vient d'où vous venez et où vous allez retourner. Une planète parmi une infinité de milliards de planètes…

Et tchou ! Nous nous sommes retrouvés ici. Oui, ici, là !

Après la démone, un zombi !

Ce que la philosophie contemporaine appelle un « zombie » n'a rien du mort-vivant folklorique. Il s'agit d'un être strictement indiscernable d'un humain ordinaire du point de vue comportemental et fonctionnel : il perçoit, parle, raisonne, se souvient, décrit ses états mentaux, réussit un test de Turing[157]. Pourtant, par hypothèse, il n'éprouve rien. Aucune expérience vécue, aucun « il y a quelque chose que cela fait », aucune conscience. Extérieurement tout est là ; intérieurement, rien.

Le problème est immédiat : comment distinguer, en pratique, un tel zombie d'un humain conscient ? S'il n'existe aucun critère

[157] Un test de Turing est une expérience de pensée proposée par Alan Turing, en 1950, pour évaluer l'intelligence d'une machine. Si, dans un dialogue à l'aveugle, un interlocuteur humain ne parvient pas à distinguer la machine d'un autre humain, celle-ci est considérée comme manifestant une intelligence comparable.

observable permettant de voir la différence, soit le zombie est possible, mais indétectable, soit il est conceptuellement incohérent. Les uns acceptent sa possibilité logique pour défendre l'idée que la conscience va bien au-delà de toute description physique ; les autres soutiennent qu'une duplication fonctionnelle complète implique nécessairement la conscience, et que le zombie est une fiction mal formée.

Poussons la difficulté jusqu'au bout, en revenant à un sol minimal, non pas idéaliste, mais phénoménal. Le seul fait indubitable est l'évidence de ma propre conscience. Des autres, je n'ai que des indices comportementaux. Je pourrais, en droit, les tenir tous pour des zombies. Cette posture solipsiste radicalise la question sans y répondre, en recentrant le problème sur l'expérience elle-même. Or, si l'on adopte le modèle quadridimensionnel de l'univers-bloc, les cerveaux, leurs états neuronaux, leurs micro-agitations moléculaires sont intégralement inscrits dans la géométrie du bloc. Les processus que nous corrélons à la conscience y sont figés comme n'importe quel autre événement physique. Dire que « la pensée fait partie du bloc » revient à dire que ces configurations neuronales sont des structures spatio-temporelles déterminées.

Mais alors la difficulté réapparaît, plus aiguë encore : si tout, y compris les corrélats neuronaux de la conscience, est géométriquement inscrit dans l'univers-bloc, qu'est-ce qui fait qu'il y a expérience plutôt que simple structure ? Qu'est-ce qui distingue, dans le bloc, un cerveau conscient d'un cerveau zombi parfaitement isomorphe ? Autrement dit : qu'est-ce qui, dans cette géométrie à quatre dimensions, constitue le fait qu'elle soit vécue ? C'est à ce point précis que la question peut basculer vers une reformulation physique. Il ne s'agit plus d'interroger : « où est le siège de la conscience ? », mais de se demander sous quelles conditions dynamiques une structure du bloc cesse-t-elle d'être une simple configuration pour devenir un processus, nécessairement irréversible, de « lecture du bloc » ? Ce déplacement de point de vue ouvre naturellement vers l'entropie.

L'entropie dans la tête

Bien entendu, le lecteur aura compris que le but de cette excursion imaginaire avec la démone avait pour utilité de nous faire comprendre que la conscience n'est pas DANS l'univers-bloc. Elle est

ce qui la parcours, en fait une lecture, comme le scanner de l'hôpital vous découpe en tranches d'images. La démone et les « nous » qui l'accompagnent, bien entendu, se devaient d'être exemptés de ce découpage et posséder une « conscience » qui voit, ressent, s'émerveille, etc. Et pourtant, la question est bien toujours là : où est-elle cette conscience ? Dans les particules, les atomes, la matière, le cosmos, les microtubules, les glandes cérébrales ? Que nenni !

Le voyage avec la démone nous a montré un univers-bloc intégralement figé, où rien ne voit rien. Même les cerveaux y sont immobiles, comme des fossiles d'instants. Ce qui parcourt les tranches n'est pas un organe du bloc, mais une lecture. Or toute lecture suppose une dissymétrie, une direction, un avant et un après. Encore une fois, la question n'est pas : « où situer la conscience ? » La question est : « dans quelles conditions physiques un système peut-il produire cette direction de lecture ? » N'étant pas dans le monde, la conscience ne peut être que l'effet d'un processus dynamique irréversible. Autrement dit, comme une forme locale d'augmentation d'entropie.

Être conscient est un acte intime, intérieur à notre pensée et, les zombis en sont témoins, ça ne se voit pas. Aussi, le plus sûr moyen d'actualiser sa conscience est-il de la moraliser : la fameuse conscience morale. Et pour cela, rien de mieux que de questionner ce qui sous-tend souvent cette conscience morale : le libre arbitre. En avoir ou ne pas en avoir ? Telle sera la question. Le libre arbitre est-il une illusion ? Sommes-nous une trame de l'univers-bloc, donc entièrement déterminés ? Ou possédons-nous ce fameux libre arbitre qui signe la conscience humaine ?

Comme nous l'explique Robert Sapolsky[158], l'idée d'un libre arbitre autonome se dissout au fur et à mesure que l'on élargit l'échelle temporelle. À la seconde qui précède un acte, notre soi-disant « libre arbitre » dépend de l'état neurochimique de notre cerveau. Dans les minutes qui précèdent, des hormones circulantes dans notre organisme. Dans les heures et les jours avant, c'est le stress, le sommeil, le contexte social qui sont déterminants. Dans les années avant, c'est l'apprentissage, l'environnement, la culture. Et plus en amont encore, le développement fœtal, la génétique, l'histoire évolutive.

[158] Sapolsky, 2025, 2026.

Même le choix d'un adjectif dans le discours peut modifier l'évaluation d'un jury par simple effet d'amorçage et de cadrage, nous explique Sapolsky. L'avocat d'un prévenu, qui choisit le terme neutre « inapproprié », plutôt que le terme à connotation morale « mauvais », influencera le jury. Cependant, le « choix » de l'avocat, dicté par son souci de défendre son client, n'est pas plus « libre » que la réaction des jurés. Tout comme l'accusé, qui a commis son acte à partir de multiples facteurs sociaux, environnementaux, liés à son enfance, etc. Chacun, dans un tribunal, est le point de convergence provisoire d'une chaîne causale extraordinairement dense.

Si un individu peut modifier le comportement d'un autre par ses paroles, ses arguments, son cadrage, on pourrait croire qu'il exerce une causalité « créatrice », qu'il ouvre une bifurcation réelle dans le cours des choses. Autrement dit, son intervention semblerait introduire une indétermination locale : sans lui, le jury aurait jugé autrement ; avec lui, il juge différemment. Cela donne l'impression d'une marge, d'un espace de liberté.

En réalité, l'intervention de l'avocat ne fait qu'ajouter un maillon au réseau déterministe. L'avocat est déterminé à employer certains termes par sa formation, son expérience, sa stratégie, son tempérament, son histoire ; le jury est déterminé à y répondre selon ses biais, ses affects, son contexte ; l'accusé l'a été par d'autres contraintes encore. Le système entier est un enchevêtrement d'influences réciproques sans centre souverain.

Dans la perspective de l'univers-bloc, rien ne « se déroule » : ces interactions sont inscrites comme une structure quadridimensionnelle complète. Notre cerveau est donc « libre » au sens où il produit des choix internes cohérents avec ses états, mais ces états eux-mêmes sont intégralement déterminés. Libre dans l'expérience qu'on en fait ; déterminé dans la géométrie cosmique.

L'exemple de ce qui se passe dans un tribunal nous le montre : la question du libre arbitre est largement associée, dans les imaginaires, aux actes malfaisants. La conscience morale semble encore sollicitée dans cette équation étrange, que font certains, entre rejet du libre arbitre et déchainement dans une sorte de sauvagerie ou de folie.

Dans son ouvrage sur le déterminisme[159], Sapolsky cite Gilberto Gomes[160] : « [le rejet de l'idée du libre arbitre] nous laisse avec une

[159] Sapolsky, 2025, p. 397.

image incompréhensible du monde humain, puisqu'il n'y a ni responsabilité ni obligation morale en lui. Si l'on ne pouvait pas faire autrement, on ne peut pas dire qu'on aurait dû faire autrement. » Sapolsky cite encore Daniel Dennett, selon lequel, s'il n'y avait pas de libre arbitre : « Il n'y aurait aucun droit, aucun recours à l'autorité pour se protéger contre la fraude, le vol, le viol, le meurtre. Bref, aucune morale […] Voulez-vous vraiment ramener l'humanité à l'état de nature de Thomas Hobbes […], dans lequel la vie est désagréable, brutale et brève ? »[161].

Pour Sapolsky, « le rejet du libre arbitre ne vous condamne pas à mal tourner », à condition d'avoir été bien éduqué, afin de comprendre, en conscience, d'où vient réellement un comportement. Apprendre donc ce qu'est le déterminisme. Retournons au tribunal, si tant est qu'il est la scène par excellence où sont exposés les facteurs, les déterminismes et leurs associations aux actes. Qu'adviendra-t-il, si celui qui doit juger, retourne à l'accusé les mêmes arguments de l'impuissance déterministe ? Expérience de pensée :

> Le condamné : « Mais monsieur le juge, je n'ai pas de libre arbitre. C'est mes gènes, c'est mon enfance, c'est tout ce que j'ai vécu, j'y peux rien ! J'ai tué, mais j'y peux rien. Et en plus on est dans un univers-bloc à la Einstein, où tout est dans un présent éternel et ça se déroule. J'y peux vraiment rien. » Et le juge de répondre : « Eh bien, figurez-vous que ce matin, en me rasant devant mon miroir, je me disais exactement la même chose que vous : je n'ai pas de libre arbitre, c'est mes gènes, c'est mon enfance, c'est mon éducation, c'est tout ce que j'ai vécu, j'y peux rien ! Et en plus c'est la loi, je vais devoir vous condamner à la prison à perpétuité, pour le crime que vous avez commis, mais j'y peux rien, vraiment ! C'est comme ça, c'est automatique, vous voyez ? Et en plus, comme vous dites, avec Einstein, on est dans un univers-bloc où passé, présent et futur coexistent. Et ça se déroule comme ça : je vais vous mettre en prison, *ad vitam aeternam* ! »

[160] Gomes, 1998.

[161] Caruso, Dennet, 2018.

L'hypothèse du passé

L'excursion avec la démone nous l'a révélé : nous habitons un univers-bloc quadridimensionnel, intégralement déployé, où rien ne change ni ne se décide. Conscience et libre arbitre n'y introduisent aucune possibilité. Ce qui est, est déjà inscrit dans la trame de l'espace-temps. L'histoire entière, du fond diffus aux derniers états thermodynamiques, y coexiste sans privilège du présent.

Bien avant Einstein, la science occidentale s'est édifiée sur l'hypothèse d'un déterminisme total. Il ne s'agit pas seulement d'une thèse ontologique, mais de la condition même de la possibilité de la méthode scientifique. Le principe universel de causalité, qui pose que toute cause produit son effet et que tout effet procède d'une cause, fonde la prédiction, l'explication et l'efficacité technique. Sans cette continuité stricte des enchaînements, ni lois, ni calcul, ni maîtrise du monde ne seraient concevables.

Nous sommes dans un univers déterministe, non seulement parce qu'y règne le principe naturel de cause et d'effet, mais parce que sa structure même est quadridimensionnelle. Dans un tel cadre, il n'y a pas d'instance qui interviendrait pour infléchir le cours des choses : il n'y a qu'un déploiement intégral de l'espace-temps. Les événements n'adviennent pas, ils sont.

Personne n'agit au sens fort. Rien ne s'arrache au tissu du monde pour en modifier la trame. Tout est déjà inscrit dans la géométrie du bloc, comme les images d'un film dont chaque photogramme existe comme empilés sur la pellicule. Le déroulement n'est qu'une perspective interne, une lecture locale de ce qui, en réalité, est donné d'un seul tenant.

D'où procède ce déterminisme ? D'où surgissent ces causes qui enchaînent les effets ? La réponse ne se situe pas seulement dans une métaphysique de la nécessité, mais dans la dynamique statistique du monde physique. Depuis le 19e siècle, Clausius, Boltzmann, Maxwell, Gibbs ont inscrit l'irréversibilité au cœur des systèmes thermodynamiques ; au 20e siècle, Shannon et von Neumann ont étendu la notion d'entropie à l'information, Eddington en a fait la flèche du temps, Prigogine a exploré les structures dissipatives, Penrose a lié la très faible entropie initiale à la géométrie gravitationnelle. L'univers, parti d'un état extraordinairement ordonné, évolue vers des configurations statistiquement de plus en

plus nombreuses. Le déterminisme local des lois s'inscrit ainsi dans une dérive globale vers le désordre maximal.

Dans cette perspective, Sean Carroll[162] propose de comprendre la conscience et le sentiment de libre arbitre comme des phénomènes émergents d'un univers à entropie croissante. La mémoire, l'anticipation, la délibération ne seraient pas des échappées hors du bloc, mais des structures informationnelles rendues possibles par l'asymétrie temporelle elle-même. Le sentiment de pouvoir agir naîtrait alors de notre inscription dans cette flèche, non d'une rupture avec la chaîne des causes.

Nous nous placerons résolument dans une analyse entropique de la conscience, à distance de ce que l'on appellera plus loin, le mythe de la conscience. Une vision mythique, donc, qui comprend aussi bien les « spiritualistes »[163] à la Descartes, qui placent conscience et matière, côte-à-côte, d'une manière séparée, que les tenants d'une conscience érigée en propriété fondamentale de la matière, au titre d'une psychophysique de base, comme chez David Chalmers. On retrouve encore dans la même veine, la conscience comme propriété fondamentale et omniprésente du monde physique chez Philip Goff ; la conscience arrimée à une structure ultime de la gravitation quantique chez Roger Penrose ; la conscience dérivée de la texture informationnelle du cosmos chez John Archibald Wheeler ; enfin, la conscience conçue comme propriété interne de certaines structures mathématiques chez Max Tegmark.

Ces hypothèses psychophysiques ont en commun de hisser la conscience au rang d'élément ontologique premier. L'approche entropique, au contraire, ne lui accorde aucun privilège fondamental : elle la situe dans la dynamique irréversible d'un univers à entropie croissante, comme configuration locale, transitoire et structurée, d'une information inscrite dans la géométrie même du bloc.

Pour la physique fondamentale, il n'existe aucune dissymétrie intrinsèque entre passé et futur. Les équations dynamiques (qu'il s'agisse de la mécanique classique, de l'électrodynamique ou de la mécanique quantique dans sa forme superposée) sont réversibles : elles autorisent aussi bien l'évolution vers ce que nous appelons le

[162] Carroll, 2022b, p. 65.

[163] Pour rappel : Bergson, Nagel, McGinn, Strawson, Marion…

futur que vers ce que nous appelons le passé. Dans un tel cadre, la figure du démon de Laplace s'impose naturellement : connaissant l'état exact de toutes les composantes de l'univers et les lois qui les gouvernent, il pourrait déduire en totalité, aussi bien ce que nous nommons le passé que ce que nous nommons l'avenir. Le déterminisme est alors trans-temporel, inscrit dans la totalité du bloc.

Reste l'asymétrie de nos vécus. Notre expérience est orientée : nous disposons de traces, de souvenirs, d'archives, qui fixent avec une relative certitude ce qui a été, tandis que l'avenir ne se présente qu'à travers des distributions de probabilités, des anticipations, des projets et l'irréductible possibilité de la surprise. Cette dissymétrie ne provient pas des lois fondamentales, mais de notre inscription locale dans un univers à entropie croissante. La mémoire est une structure physique corrélée à des états passés ; elle exige une augmentation d'entropie et produit des traces stables. Il n'existe pas de traces du futur, non parce qu'il n'existerait pas encore réellement, mais parce que la dynamique entropique ne permet pas l'enregistrement inverse. Ainsi, l'orientation de la conscience ne contredit pas le déterminisme du bloc : elle en est un effet statistique interne.

Pour Carroll : « Le moyen de concilier ces idées (le passé est fixé une fois pour toutes, tandis que le futur peut encore être changé, toutefois les lois de la physique sont réversibles) se résume en définitive à l'entropie. »[164] Le démon de Laplace peut bien tout connaître dans la trame temporelle de l'univers-bloc, sa sœur jumelle peut bien s'y déplacer à sa guise, pour nous, consciences humaines, ce n'est pas le cas.

Carroll formule ce qu'il nomme « l'hypothèse du passé » : l'univers aurait commencé dans un état d'entropie extrêmement faible, condition nécessaire pour que la flèche du temps émerge au niveau macroscopique. La différence entre le démon, la démone et nous éclaire ce point. Le démon, informée par la microphysique, disposerait d'un accès intégral aux degrés de liberté élémentaires ; la démone, située hors du bloc, en embrasserait la totalité géométrique et pourrait en examiner les coupes. Nous ne sommes ni l'un ni l'autre. Nous sommes des systèmes macroscopiques, internes au bloc, immergés dans des variables grossières, incapables d'accéder au

[164] Carroll, 2022b, p. 65.

détail microscopique[165] et incapables, surtout, de sortir de la structure quadridimensionnelle pour la contempler.

Dans ce cadre, la faible entropie du passé, c'est-à-dire son haut degré d'ordre, rend possibles les corrélations stables que sont les traces, les archives, les souvenirs. La mémoire est un enregistrement physique de configurations antérieures, rendu viable par cette condition initiale particulière. Le futur, au contraire, correspond statistiquement à des états de plus forte entropie, donc à une dispersion accrue des corrélations exploitables. Il ne peut laisser de traces au présent et il ne se présente qu'à travers des distributions de probabilités. L'orientation de notre vécu ne signale pas une ouverture ontologique du temps, mais notre position interne dans un univers parti d'un ordre extrême et évoluant vers le désordre maximal, comme l'a développé Sean Carroll.

Le versant positif de cette indétermination vécue du futur est l'un des noyaux de notre expérience consciente : le libre arbitre. Ce que nous allons faire nous apparaît aussi incertain que les configurations du monde que nous allons rencontrer. Cette symétrie subjective entre futur externe et futur interne alimente l'impression d'ouverture : plusieurs issues semblent également possibles, plusieurs décisions également accessibles.

Mais cette ouverture est phénoménale, non ontologique. Elle tient à notre ignorance des détails microscopiques et à notre inscription macroscopique dans une dynamique entropique où l'avenir ne laisse aucune trace. Nous interprétons alors l'absence d'information comme un espace de choix. Dans les limites imposées par les contraintes physiques, biologiques et sociales, cette indétermination épistémique se vit comme liberté. Elle n'introduit aucune brèche dans le bloc ; elle est la manière dont un système cognitif fini, immergé dans un univers déterminé, se représente son propre devenir.

Parce que nous sommes dans un univers caractérisé par une flèche du temps, du passé, nous ne pouvons rien changer, alors que pour l'avenir, notre impression de libre arbitre nous ouvre à certaines possibilités. Un effet du gradient entropique, faible → fort, ordre → désordre, dans l'univers qui est le nôtre. À partir de là, nous

[165] Il n'est que de se rendre compte des difficultés et paradoxes auxquels nous sommes confrontés avec la mécanique quantique.

poserons trois postulats définissant la conscience dans le cadre strict de l'univers-bloc :

(1) La conscience, ou pensée, est un produit du cerveau humain, c'est-à-dire de l'organisation et de l'activité de ses neurones. Elle n'est pas une substance distincte ni une propriété fondamentale de la matière, mais un phénomène biologique émergent inscrit dans la dynamique neurophysiologique.

(2) À ce titre, la conscience est un comportement, une action du système nerveux. Penser, se souvenir, décider, imaginer, ne sont pas des états suspendus hors du monde physique, mais des processus, donc des événements localisés dans l'espace-temps, soumis aux lois générales qui régissent tout autre phénomène naturel.

(3) L'ensemble des éléments fonctionnellement actifs du cerveau (aires cérébrales, noyaux neuronaux, neurones individuels, molécules, atomes, particules impliquées dans l'activité cérébrale), cet ensemble forme des lignes d'univers au sein du bloc quadridimensionnel. La conscience n'est rien d'autre qu'une certaine configuration corrélée de ces lignes d'univers, vue de l'intérieur par le système qui les constitue.

Sur la base de ces trois postulats, nous nous appuierons sur les analyses de Sean Carroll, qui articulent entropie et conscience, sans sortir du cadre physicaliste. Nous considérons un univers issu d'un *Big Bang*, précédé d'une phase d'inflation primordiale et poursuivant son expansion sous le régime de l'énergie sombre. Selon sa description phénoménale, l'univers part d'un état d'entropie extrêmement faible et voit cette entropie croître au fil du temps. Dans la version Einstein-Friedmann de l'univers-bloc, cette faible entropie se situe à l'extrémité que nous appelons l'origine, puis augmente le long du tube quadridimensionnel.

C'est ce gradient entropique, interne à la géométrie du bloc, qui rend possibles les structures informationnelles complexes que sont les cerveaux, et donc la conscience. Il engendre l'impression de « lire » ou de « scanner » le bloc, l'impression d'un écoulement du temps, l'impression d'un futur ouvert et d'un libre arbitre. Ces phénomènes ne sont pas des propriétés fondamentales du réel, mais des effets macroscopiques liés à notre position locale dans une structure entropiquement orientée. L'ensemble constitue ce que l'on peut appeler le mythe de la conscience : non pas une erreur triviale,

mais une construction phénoménale nécessaire à un système cognitif fini, inscrit dans un univers déterminé.

Le mythe de la conscience

Si l'illusion du flux conscient est stable, cohérente et quasi universelle chez les humains, ce n'est pas parce qu'elle révèle quelque chose de vrai sur le temps, mais parce qu'elle est la seule forme viable de conscience locale dans un univers-bloc et ce pour, au moins, cinq raisons.

Tout d'abord, la **contrainte entropique locale**. Les cerveaux humains sont des systèmes dissipatifs. Ils ne peuvent fonctionner qu'en exportant de l'entropie. Cela impose une asymétrie irréversible dans leur fonctionnement interne. Même si l'univers global est symétrique ou statique, toute région capable de cognition complexe est nécessairement orientée selon un gradient entropique. Cette orientation produit automatiquement une distinction passé/futur, indépendamment de toute ontologie réelle du temps. Autrement dit, une conscience sans flèche entropique locale serait instable, ou tout simplement impossible.

Deuxièmement, l'**architecture de la mémoire**. Le cerveau humain est massivement rétrospectif. Il stocke des traces, pas des états globaux. Chaque état conscient contient : – des inscriptions neuronales interprétées comme souvenirs ; – des modèles prédictifs interprétés comme futur. Cette dissymétrie n'est pas culturelle ni apprise. Elle est structurelle. Un cerveau qui stockerait symétriquement « passé » et « futur » serait inutilisable, car il ne pourrait ni agir ni apprendre. La cohérence du flux est donc une conséquence directe de la compression informationnelle : le cerveau reconstruit une narration temporelle minimale compatible avec ses traces internes.

En troisième raison, la **sélection évolutionnaire**. Toute conscience capable de survivre doit : – attribuer les causes à ce qui est déjà encodé ; – projeter les conséquences vers ce qui ne l'est pas encore ; – se représenter comme persistante. Une conscience qui se vivrait comme une suite d'instantanés disjoints, ou comme une structure intemporelle, serait inapte à l'action coordonnée. La continuité du moi n'est pas une vérité métaphysique, mais une condition de stabilité comportementale. Ce point est crucial :

l'universalité humaine de l'illusion vient du fait que toute conscience humaine viable doit partager cette architecture minimale.

En quatrième raison, le **verrouillage intersubjectif**. Les humains vivent dans des réseaux sociaux synchronisés. Le langage, la causalité partagée, la mémoire collective imposent une compatibilité narrative entre consciences individuelles. Une conscience humaine qui ne reconstruirait pas un flux temporel aligné sur celui des autres serait immédiatement marginalisée ou pathologisée. L'illusion est donc renforcée socialement, non par convention arbitraire, mais par nécessité de coordination.

Enfin, point décisif, la cinquièmement raison est l'**impossibilité d'un point de vue externe**. Il n'existe aucun mécanisme interne permettant à une région du bloc de se représenter comme région du bloc. Toute conscience est enfermée dans une tranche locale. Elle ne peut se représenter que des corrélations, jamais la totalité. Nous ne sommes ni démon ni démone. Le flux est la forme minimale que prend cette ignorance structurelle.

En résumé, l'illusion du temps vécu est : – stable, parce qu'elle est contrainte par l'entropie et la neurophysiologie ; – cohérente, parce qu'elle est produite par des mécanismes informationnels de compression et de prédiction ; – universelle chez les humains, parce qu'aucune autre forme de conscience humaine ne serait viable, ni biologiquement, ni socialement. Notre conscience est comme la tasse qui tombe : elle ne « choisit » pas de se briser en touchant le sol, elle suit simplement la pente irréversible de l'entropie, qui transforme une configuration ordonnée en une dispersion de possibles, dont une seule est effectivement réalisée ; et la tasse ne remontera pas se reconstituer sur la table, non parce que les lois physiques l'interdiraient, mais parce que la dynamique entropique rend cette action statistiquement impossible. Ainsi, dans un univers-bloc, il n'est pas étonnant que toutes les consciences humaines s'illusionnent de la même façon. Ce serait au contraire étonnant qu'elles puissent ne pas s'illusionner. À moins que…

Univers-bloc et méditation

Une section qui peut paraître étrange dans un ouvrage qui s'est voulu jusque-là scientifique, mais le lecteur peut se rassurer. L'appel à la méditation ne relève pas ici d'un retour à l'irrationalité. Les

travaux de Chögyam Trungpa, lama tibétain formé à la tradition bouddhiste, mais attentif aux exigences intellectuelles du monde moderne, en témoignent déjà par leurs titres mêmes : *Le mythe de la liberté*[166], *Au-delà du matérialisme spirituel*[167]. Loin d'encourager une fuite mystique, Trungpa s'emploie au contraire à mettre en lumière les illusions de la spiritualité elle-même, celles qui entourent la pratique de la méditation, comme celles qui nourrissent notre conception ordinaire de la conscience. Dans cette perspective, la méditation ne vise pas à produire une nouvelle croyance sur l'esprit, mais à dévoiler, derrière l'agitation mentale et les constructions conceptuelles, une forme de substrat indicible de l'expérience. C'est ce point que nous tenterons de rapprocher d'une vision « à la démon » de l'univers-bloc. Une telle démarche nous conduira à dépasser, aussi bien le mythe d'une conscience séparée de la matière, que celui d'une conscience dissoute dans les particules du monde.

L'apprentissage de la pratique méditative ne sera pas abordé dans cet ouvrage[168]. Cette section plus philosophique s'adresse avant tout aux lecteurs expérimentés. Cependant, tout un chacun, quel que soit son niveau de pratique méditative, peut trouver un bénéfice à comprendre l'esprit et les objectifs de la méditation.

Le concept bouddhiste que nous allons tenter d'accorder avec celui d'univers-bloc est celui de *Śūnyatā*[169], la vacuité[170]. Sa définition canonique se trouve dans la Prajñāpāramitā (parfaite sagesse transcendante)[171]. Dans la section intitulée le « *Sūtra* du Cœur », l'un des textes les plus courts et les plus célèbres du corpus de la Prajñāpāramitā. Dans ce texte, Avalokiteśvara[172] répond à une

[166] Trungpa, 1979.

[167] Trungpa, 1976.

[168] Pour cela voir *Méditation et action*, de Chögyam Trungpa, 1972.

[169] Prononcer *chounïata*.

[170] Nous avons évité le terme interchangeable de « vide », pourtant utilisé en littérature bouddhiste, mais déjà très utilisé et connoté en physique et en cosmologie.

[171] Dawa-Samdup, 1964. Le lecteur souhaitant approfondir ce texte peut aussi se référer à Nagarjuna, 2002 et Avalokiteśvara, 2001.

[172] Avalokiteśvara, *bodhisattva* (pratiquant engagé dans la voie de l'Éveil) majeur du bouddhisme Mahāyāna.

question de Śāriputra[173]. Les deux sont en présence du Bouddha en train de méditer.[174]

Figure 53 Illustration d'artiste du Bouddha Siddhārtha Gautama en méditation.

[173] Śāriputra, l'un des principaux disciples du Bouddha historique.

[174] Le texte peut être retrouvé à la fin de l'ouvrage de Dawa-Samdup, 1964, pp. 357-361.

Śāriputra demande à Avalokiteśvara comment comprendre la Prajñāpāramitā. Avalokiteśvara lui répond en posant l'équation entre tous les phénomènes et la vacuité. Les cinq « agrégats » qui constituent l'individu selon la doctrine bouddhique sont : la forme, c'est-à-dire le corps et la matérialité ; la sensation ou le ressenti, les impressions agréables, désagréables ou neutres ; la perception ou reconnaissance, qui identifie et nomme les objets ; les formations mentales ou actes de volonté, ensemble des dispositions, impulsions et constructions psychiques ; la conscience, la conscience cognitive liée aux sens et à l'esprit. Ces cinq agrégats sont vacuité, ce qui signifie qu'aucun d'eux ne possède d'existence propre ou indépendante.

Dans la doctrine de la vacuité, dire que les cinq agrégats n'ont pas d'existence propre signifie qu'ils ne possèdent pas de nature intrinsèque. Aucun agrégat n'existe par lui-même, de façon autonome, stable et indépendante. Chacun apparaît seulement par dépendance à d'autres causes et conditions. Par exemple, la forme dépend de processus physiques et biologiques ; les sensations dépendent du contact entre organes sensoriels, objets et conscience ; la perception dépend des structures cognitives ; les formations mentales dépendent d'habitudes, de conditionnements et de causes antérieures ; la conscience elle-même dépend de l'interaction entre faculté sensorielle et objet. Rien n'existe isolément.

La vacuité ne signifie donc pas que les agrégats n'existent pas du tout, mais qu'ils n'existent pas « en soi ». Ils existent seulement de manière relationnelle, conditionnée et impermanente. C'est ce que le bouddhisme[175] exprime par la « coproduction conditionnée » : tout

[175] Le bouddhisme ne constitue pas un ensemble doctrinal homogène. Au fil de son histoire, il s'est diversifié en de nombreuses écoles et traditions, souvent chargées de croyances et d'élaborations doctrinales étrangères à l'enseignement initial du Bouddha : formes de théisme, doctrines de la réincarnation conçue comme transmigration d'une entité personnelle, spéculations sur un esprit universel, cosmologies primitives, ou encore cultes dévotionnels. Dans le présent ouvrage, la référence au bouddhisme est limitée au courant du Mahāyāna (« Grand sentier »), et plus précisément à la tradition philosophique du Mādhyamaka (« Voie du milieu »), associée à Nāgārjuna (2e-3e siècle). Cette tradition prolonge et systématise l'enseignement attribué au Bouddha Śākyamuni historique, qui ne s'est jamais présenté comme une entité divine, mais comme un être humain ayant réalisé l'Éveil, dont la doctrine centrale met en évidence la vacuité

phénomène apparaît en dépendance d'autres phénomènes. De ce point de vue, l'individu n'est pas une entité substantielle, mais un agrégat dynamique de processus physiques et mentaux. Ce que nous appelons « moi » n'est qu'une désignation conventionnelle appliquée à cet ensemble changeant. La Prajñāpāramitā pousse ce raisonnement jusqu'au bout : non seulement le moi est vacuité, mais les agrégats eux-mêmes, qui semblent constituer la réalité ultime de l'individu, sont également dépourvus de nature propre.

Après un exposé encore plus détaillé de ce qu'est la vacuité, Avalokiteśvara boucle son enseignement en l'assimilant lui aussi à la vacuité : « Il n'y a pas de Sentier, il n'y a pas de Sagesse, rien à atteindre ou ne pas atteindre. » Cette formule appartient au registre paradoxal propre à la doctrine de la vacuité. Lorsqu'Avalokiteśvara affirme qu'« il n'y a pas de Sentier, pas de Sagesse, rien à atteindre », il ne nie pas l'existence pratique de la voie bouddhique ; il nie qu'elle possède une réalité d'existence en soi, intrinsèque. Dans l'enseignement ordinaire, il existe un chemin : pratiques, disciplines, méditation, sagesse, progression vers l'éveil. Mais du point de vue de la sagesse parfaite, tout cela appartient encore au domaine des constructions conceptuelles. Si tous les phénomènes sont vides de nature propre, alors les catégories spirituelles elles-mêmes le sont aussi : sentier, sagesse, éveil, réalisation.

Autrement dit, il n'y a pas d'entité appelée « sagesse » que l'on pourrait posséder, ni d'objet ou lieu appelé « éveil » que l'on pourrait atteindre. Il n'y a pas non plus un « moi » réel qui marcherait sur un « chemin » vers un « but ». Le langage de la progression spirituelle fonctionne au niveau conventionnel, comme un moyen pédagogique. Mais lorsque la vacuité est comprise, on voit que ces distinctions disparaissent : il n'y a ni sujet qui obtient, ni objet obtenu.

(*śūnyatā*) de tous les phénomènes et qui a affirmé l'équation entre *nirvāṇa* (la disparition de la croyance en l'existence propre des phénomènes et le détachement psychologique qui en découle) et *saṃsāra* (vivre dans un monde de phénomènes qui apparaissent, changent et disparaissent, tout en étant pris dans des mécanismes psychologiques d'attachement, de désir, d'aversion et d'illusion), la vacuité valant également pour l'un comme pour l'autre.

Le paradoxe sert précisément à briser l'attachement à l'idée même de réalisation spirituelle[176]. Dans la logique de la Prajñāpāramitā, croire qu'il y a quelque chose à atteindre est encore une forme de saisie mentale. La sagesse parfaite consiste à reconnaître que rien n'a jamais eu d'existence propre, et donc qu'il n'y a jamais eu, en dernier ressort, quoi que ce soit à acquérir. C'est pourquoi le texte peut dire simultanément qu'il existe une voie et, au niveau ultime, qu'il n'y en a aucune.

Où nous pouvons constater que la vacuité n'est pas un nihilisme. Elle ne signifie pas que rien n'existe, mais que rien n'existe par soi-même, de façon indépendante et permanente. Les phénomènes apparaissent, se transforment et disparaissent dans un réseau de relations et de conditions, sans substrat stable auquel s'accrocher. Comprendre cela ne conduit pas au désespoir métaphysique, mais à une forme de désencombrement de l'esprit. Dans l'expérience méditative, lorsqu'il n'y a plus rien à chercher ni à atteindre, lorsque l'activité de saisie et de fabrication mentale se suspend, la vacuité cesse d'être un concept et devient une expérience directe. L'expérience d'un esprit qui ne fait rien et ne s'approprie rien : « ne rien faire pour ne rien obtenir »[177]. C'est dans cette suspension que peut apparaître, au moins par intuition, quelque chose qui ressemble à la perspective « démonique »[178] sur l'univers-bloc : une vision où les événements ne sont plus vécus comme un flux à conquérir ou à diriger, mais comme une totalité déjà là, dont l'esprit peut, fugitivement, entrevoir la structure sans s'y projeter comme centre ou comme agent.

Dans la Prajñāpāramitā, l'affirmation que « la forme est le vide et le vide est la forme » est centrale. Nous sommes dans une sorte de contradiction expérientielle : celle d'un vécu phénoménal, ce qui est appelé la forme (ce qui est avant toute conceptualisation, comme cette scène, par exemple, où vous êtes assis sur un banc, dans un jardin public, avec un environnement, des sensations diverses, le spectacle des enfants qui jouent, des gens qui passent et ce « vous » sur ce banc, plus ou moins confortable, etc.), alors que depuis la

[176] Ce que Trungpa dénonce comme matérialisme spirituel.

[177] Loonis, 2022b, p. 207.

[178] En référence, bien sûr, au démon de Laplace ou à sa sœur jumelle. Donc, rien de démoniaque !

relativité d'Einstein nous savons fort bien que nous sommes dans un univers-bloc. Se pose alors la question du caractère illusoire du vécu « forme », qui ne peut exister en soi ; il s'agit bien de « vacuité ».

La forme est avant toute conceptualisation. Il est important de bien le préciser, car la conceptualisation ajoute à l'illusion, nourrit l'illusion. Trungpa, dans son « matérialisme spirituel » montre et dénonce le fait que même la spiritualité, la méditation, peuvent être repris par l'intellect. Par exemple, au cours d'une méditation avancée et profonde, il peut arriver de vivre littéralement la vacuité, mais que notre moi intellectuel s'en empare soudain en la conceptualisant : « ça y est ! Je suis un Bouddha ! ».

Comme l'explique Trungpa : « La forme est vide si nous la voyons en l'absence de nos propres interprétations personnelles la concernant. » Et il ajoute : « Mais le vide est aussi la forme. »[179] Comment comprendre cette apparente contradiction ? Trungpa propose de contempler deux choses : une feuille d'érable en train de tomber et un tas d'ordures. La version « la forme est le vide » de cette scène est qu'elle est vacuité au sens où la conceptualisation « beauté » de la feuille d'érable et « laideur » du tas d'ordures, disparaît. Feuille et ordures sont juste là, comme ça. « Tout va bien », allez-vous dire ! « Tout est parfait » et c'est « très beau à voir » et tac ! Ce vide, vous venez de l'habiller en forme « bien, parfait, beau » en le conceptualisant. C'est pourquoi, il est dit que « le vide est aussi les formes ». La vacuité c'est aussi la feuille d'érable et le tas d'ordures.

D'une certaine façon, la « vacuité » est aussi de trop dans l'expérience. La clé de la méditation consiste alors à se tenir dans la position tremblotante d'une goutte de rosée, suspendue juste à la pointe d'une herbe et sur le point de tomber. Une vibration entre forme et vacuité, sans s'accrocher ni à l'une ni à l'autre. Les choses peuvent être belles ou moches, elles sont comme ça, c'est la vacuité, mais en plus nous les voyons juste telles qu'elles sont, sans rien y ajouter, sans conceptualisation, retour à la forme. Comme le dit Trungpa, il s'agit d'être « suspendu nulle part »[180].

Comme l'explique Guy Bugault dans son commentaire sur Nāgārjuna : « Ainsi, le monde, le moi, ne sont ni réels ni irréels, ils sont de l'ordre de l'illusion. Tout se passe *comme si*. C'est ce qui nous

[179] Trungpa, 1976, pp. 182-3.

[180] Trungpa, 1976, p. 184.

arrive au cinéma, on comprend l'histoire, on y croit. […] Le monde est un langage, un système de signes et d'informations, sans plus, sans référent extérieur aux signifiants. »[181]

Après cette parenthèse quelque peu spiritualisante, consacrée à la vacuité dans la tradition bouddhique, chez Nāgārjuna ou Chögyam Trungpa, le lecteur aura sans doute compris où nous voulions en venir. Il existe un écart vertigineux entre notre vécu ordinaire (pittoresque, animé, saturé de sensations, d'émotions, de décisions et d'initiatives personnelles) et, d'un autre côté, le savoir scientifique issu de la physique relativiste et du physicalisme contemporain. La science nous décrit un univers-bloc quadridimensionnel, issu du *Big Bang* et de l'inflation primordiale, dans lequel le temps n'est qu'une dimension parmi d'autres. L'univers y apparaît comme un tout déjà déployé, passé, présent, futur, parcouru par un gradient d'entropie allant d'un état initial très ordonné vers des états de plus en plus désordonnés, ce gradient produisant, pour les organismes que nous sommes, l'illusion cinématique d'un écoulement du temps et d'une liberté d'action.

Nous ne savons pas si la pratique méditative peut réellement conduire chacun à l'intuition d'un tel univers-bloc, mais la suspension des constructions mentales que la méditation propose (ce moment où il n'y a plus rien à saisir ni à accomplir) offre peut-être une voie singulière pour approcher, par l'esprit, quelque chose qui ressemble à cette étrange perspective « démonique » sur le cosmos.

[181] Nāgārjuna, 2002, pp. 222-23.

3. Un univers d'illusions

Dans un univers-bloc, il n'y a rien qui « apparaît » au sens dynamique. Il n'y a ni émergence au fil du temps, ni production progressive. Tout ce qui existe, existe déjà comme structure de l'espace-temps. La conscience, dans ce cadre, n'est pas un processus qui commence, se déroule et s'achève. Elle est une propriété locale de certaines régions du bloc, exactement comme une densité d'énergie, une courbure géométrique ou un champ. Elle ne circule pas : elle est distribuée tout du long des lignes d'univers du bloc.

Un état conscient correspond à une configuration physique complète du cerveau à un point donné de l'espace-temps. Cette configuration inclut nécessairement des corrélations neuronales, des traces mnésiques, des modèles internes du monde et une représentation d'un passé et d'un futur. Ces éléments ne sont pas orientés vers un temps réel ; ils sont orientés vers d'autres régions du bloc. Le « passé » n'est pas ce qui n'existe plus, mais ce qui est corrélé d'une certaine manière. Le « futur » n'est pas ce qui n'existe pas encore, mais ce qui n'est pas corrélé de façon déterminée depuis cette région-là du bloc.

Le point clé est ici : la conscience n'est pas ce qui traverse le bloc, elle est ce par quoi le bloc se donne localement comme traversé. Il n'y a donc pas un sujet qui se déplace d'un instant à l'autre. Il y a une suite de régions du bloc, chacune contenant une structure consciente, qui se représente elle-même comme venant de la précédente. La continuité est interne à la représentation, pas à l'ontologie.

Cela conduit à une conséquence radicale mais cohérente : le « moi » n'est pas une entité persistante. C'est une relation de ressemblance et de cohérence entre états conscients voisins dans le bloc. Dire « je me souviens » signifie : cette configuration cérébrale encode des traces compatibles avec d'autres configurations situées ailleurs dans le bloc. Dire « je décide » signifie : cette configuration encode plusieurs prolongements cohérents possibles, sans avoir accès à celui qui est effectivement réalisé dans la structure globale. Le libre arbitre, dans ce cadre, n'est ni vrai ni faux au sens classique. Il est une propriété interne de certains états du bloc : la capacité à se

représenter des alternatives sans connaître celle qui est inscrite globalement.

On peut donc formuler la thèse d'une façon géométrique : la conscience est une section locale autoréférentielle de l'univers-bloc, capable d'encoder une histoire sans qu'aucune histoire ne soit en train de se dérouler. À ce stade, la question n'est plus « comment la conscience émerge-t-elle du temps ? », mais « pourquoi certaines régions du bloc ont-elles cette propriété d'autoreprésentation narrative, et d'autres non ? »

Le « flux » de la conscience n'est donc pas un flux réel. C'est une reconstruction. Une lecture locale, séquentielle, d'une structure déjà entièrement donnée. Exactement comme si, dans un livre déjà écrit de la première à la dernière page, chaque page contenait l'illusion qu'elle vient après la précédente et avant la suivante.

Carroll, qui explique la flèche du temps par l'entropie croissante dans notre univers de type *Big Bang*, accorde à cette flèche du temps le pouvoir de générer l'illusion de l'écoulement : « La flèche du temps explique le pourquoi le temps semble s'écouler autour de nous ou (si l'on préfère) notre impression d'évoluer au cours du temps. C'est la raison pour laquelle nous nous rappelons le passé, mais pas le futur, la raison pour laquelle nous évoluons, métabolisons et enfin mourons. La raison pour laquelle nous croyons aux notions de cause et d'effet, et c'est essentiel pour notre conception du libre arbitre. Et tout cela à cause du Big Bang. »[182]

L'idée que le monde tel que nous l'expérimentons n'est pas la réalité ultime apparaît dans plusieurs traditions philosophiques et religieuses.

Dans le bouddhisme, en particulier dans la tradition du Mādhyamaka, le monde phénoménal est souvent comparé à un rêve, à une illusion magique ou à un mirage. Cette comparaison ne signifie pas que les phénomènes n'existent pas, mais qu'ils n'existent pas de la manière dont nous croyons qu'ils existent. Nous leur attribuons spontanément une existence propre, stable et indépendante, alors qu'ils apparaissent en réalité de manière conditionnée et interdépendante. Cette erreur de saisie produit l'attachement, l'aversion et l'illusion d'un moi séparé. La doctrine de la vacuité (*Śūnyatā*), systématisée par Nāgārjuna, affirme que tous les

[182] Carroll, 2022b, p. 13.

phénomènes sont dépourvus d'existence intrinsèque. Ainsi, le monde tel qu'il est perçu par la conscience ordinaire ressemble-t-il à un rêve : il possède une réalité conventionnelle dans l'expérience, mais il ne correspond pas à une réalité ultime possédant une essence propre.

Dans l'hindouisme, en particulier dans l'Advaïta Vedānta, le concept de *māyā* désigne précisément l'apparence du monde phénoménal. Le monde perçu est réel au niveau de l'expérience ordinaire, mais il est considéré comme une manifestation ou une apparence qui voile la réalité ultime, le *brahman*. L'illusion ne signifie pas que rien n'existe, mais que la manière dont les choses apparaissent à la conscience ne correspond pas à leur nature profonde.

Dans la philosophie grecque, on trouve une idée proche chez Platon avec l'allégorie de la caverne. Les prisonniers prennent les ombres projetées sur la paroi pour la réalité elle-même, alors qu'elles ne sont que des apparences produites par des objets situés ailleurs. La perception ordinaire est ainsi comprise comme une forme d'illusion par rapport à une réalité plus fondamentale accessible par la connaissance.

Dans certaines formes de mystique chrétienne ou néoplatonicienne, le monde sensible est également présenté comme une apparence ou une image d'une réalité plus profonde. L'accent y est souvent mis sur le fait que les choses visibles ne sont que des manifestations transitoires d'un ordre plus fondamental.

Dans la philosophie moderne, cette intuition réapparaît sous des formes différentes. Schopenhauer, par exemple, parle du monde comme représentation : ce que nous percevons est une construction de notre appareil cognitif. Kant distingue également le phénomène, le monde tel qu'il apparaît à notre sensibilité et à notre entendement, du noumène, la chose en soi qui reste inaccessible.

Même certaines interprétations contemporaines de la physique et des sciences cognitives vont dans ce sens en soulignant que la perception et la conscience construisent des modèles du monde plutôt qu'elles n'en donnent un accès direct. L'idée que l'expérience ordinaire ressemble à une sorte de « rêve éveillé » n'est donc pas propre au bouddhisme, même si celui-ci en a fait l'un des axes centraux de son analyse de l'esprit et de la réalité.

Si l'on considère la conscience comme le cadre général, l'illusion fondamentale est celle d'un centre subjectif, le Moi[183], à partir duquel nous pouvons envisager l'ensemble des illusions qui se structurent autour de ce centre subjectif supposé, en passant par la construction psychologique du monde, pour aboutir au monde physique tel qu'il est interprété par la conscience. Une liste étendue des illusions de la conscience peut s'ordonner ainsi : le moi ; l'agent ; le libre arbitre ; les sensations-perceptions ; les représentations mentales ; les conceptions ; la cohérence ; le destin ; la spatialité ; la temporalité ; le mouvement ; l'énergie ; les interactions fondamentales ; les lois de la Nature ; la causalité[184]. Nous allons les caractériser tour à tour.

L'illusion du moi

« Agrégat de tendances », comme le définit si justement le bouddhisme, le moi est sans doute la première des illusions. Habituellement, chacun se vit comme un centre subjectif stable situé « ici », au cœur du corps et de l'esprit, à partir duquel le monde serait perçu et les actions décidées et réalisées. Le sentiment d'un « moi » apparaît comme un effet local du fonctionnement du cerveau : un modèle interne qui unifie les perceptions, les souvenirs et les intentions afin d'organiser le comportement. Le « moi » n'est donc pas un centre réel dans l'univers, mais une construction générée par

[183] Souvent appelé aussi « ego ».

[184] Nous avons sélectionné quinze d'entre elles, parmi les plus importantes, mais les illusions de la conscience sont innombrables. On peut encore citer, par exemple, les illusions d'irréversibilité, d'évolution, du sens donné, d'identité, de séparation, de stabilité, de l'importance, de la finalité… Mais, nous serions impardonnables, si nous ne disions pas quelques mots sur, sans conteste, la plus grande des illusions. Elle nous emporte durant la jeunesse et elle nous est révélée des décennies bien plus tard, lorsqu'elle commence à relâcher son emprise. Alors, nous découvrons, consternés, qu'elle nous a berné dès la sortie de l'enfance, jusqu'à l'âge des cheveux gris, avec un programme neurobiologique, destiné à assurer la reproduction de l'espèce humaine ! Avec ses sentiments, ses émotions, ses joies et ses déprimes, ses poèmes et ses romans, ses « objets uniques interchangeables » (Freud), ses dévouements surhumains, ses crimes passionnels, ses addictions avec ses désirs irrépressibles, ses assuétudes, ses manques et ses rechutes à long terme… et cela n'en finit pas et tout cela par l'effet illusoire d'un… programme neurobiologique : l'amour !

les processus cérébraux, une fiction cognitive utile à l'organisation de l'expérience, mais dépourvue d'existence propre.

L'illusion de l'agent

Le moi se vit comme un agent : une entité capable d'agir, de poursuivre des buts, de prendre des décisions et de produire des effets dans le monde. Cette impression d'agentivité donne le sentiment qu'il existe, au centre de l'individu, une instance qui initie les actions et oriente le cours des événements. Le cerveau construit un modèle interne dans lequel certaines chaînes causales sont interprétées comme « mes actions » dirigées vers des buts. Ainsi, l'agent n'est pas une entité réelle qui agirait dans le monde, mais une construction du cerveau qui attribue à un centre imaginaire l'origine des actions.

L'illusion du libre arbitre

Tout au long de la vie, chacun se vit comme capable de choisir librement entre plusieurs possibilités et d'orienter ainsi le cours des événements. Cette impression est renforcée par l'expérience subjective de la délibération : on pèse des options, on hésite, puis une décision semble surgir comme l'expression d'une volonté personnelle. Le sentiment d'avoir pu agir autrement provient du fait que le cerveau simule mentalement plusieurs scénarios possibles avant qu'une action ne se produise réellement. Cette simulation donne l'impression d'une ouverture réelle des possibles, alors qu'il ne s'agit que d'un processus interne de calcul et d'anticipation. Certains modèles naïfs vont jusqu'à imaginer, implicitement, un petit décideur logé quelque part dans le cerveau, un *homoncule* chargé de trancher entre les options. Mais une telle entité ne ferait que déplacer le problème, car il faudrait alors expliquer comment cet homoncule décide lui-même : est-ce un noyau de neurones ? Est-ce un seul neurone ? Mais alors ce neurone, d'où lui vient qu'il produit un influx nerveux ? Et ainsi de suite, dans une régression à l'infini vers les quanta, sans jamais atteindre ce qui déciderait réellement. Le libre arbitre est ainsi une interprétation subjective de processus cérébraux, psychophysiques qui, eux, n'échappent pas à la détermination du monde.

L'illusion des sensations-perceptions

À partir des sensations, l'expérience sensible donne l'impression que nous percevons directement un monde extérieur doté de qualités propres : formes, couleurs, sons, textures, odeurs. Pourtant, ce que nous appelons perception commence par de simples excitations physiques captées par les organes sensoriels. Ces signaux sont ensuite transmis et transformés par le système nerveux, puis intégrés dans différentes régions du cerveau qui élaborent une représentation cohérente de l'environnement. Dans ce processus, le cerveau établit une distinction fonctionnelle entre un « intérieur », le corps et ses états (la cœnesthésie), et un « extérieur », ce qui l'entoure. Les qualités que nous attribuons aux choses perçues ne sont donc pas présentes telles quelles dans le monde, mais résultent de cette construction interne[185]. Cette élaboration perceptive est étroitement liée aux tendances émotives fondamentales des organismes vivants : attraction vers ce qui paraît favorable, répulsion face à ce qui semble menaçant, indifférence pour ce qui n'a pas d'enjeu immédiat. Le monde perçu est ainsi une interprétation fonctionnelle produite par ces systèmes sensori-perceptifs et non une réalité qui existerait indépendamment de cette activité perceptive.

L'illusion des représentations mentales

Au-delà des perceptions immédiates, le cerveau produit en permanence des représentations internes : images mentales, souvenirs, anticipations, fantasmes, croyances, théories ou modèles du monde. Ces contenus donnent l'impression qu'un espace intérieur existerait où se formeraient et circuleraient des idées, comme si l'esprit manipulait des objets mentaux distincts de la réalité physique. En réalité, ces représentations sont réductibles à des configurations particulières d'activité cérébrale. Elles résultent de la capacité du cerveau à enregistrer des traces du passé, à recombiner

[185] Si nous prenons l'exemple de la vision, les photons lumineux qui nous parviennent du monde s'arrêtent à la rétine qui les détecte. Au-delà, il n'y a plus de lumière. Il s'agit de signaux électrochimiques, qui parcourent les nerfs optiques et rejoignent les aires visuelles à l'arrière du cerveau. Là, ces signaux sont traités selon différents paramètres (par exemple l'orientation des lignes, les contrastes, l'interprétation en « couleurs », etc.), pour aboutir finalement à la conscience de voir, élaborée par le cerveau.

ces traces et à simuler des situations possibles afin d'orienter le comportement. Les représentations mentales donnent ainsi l'impression d'un monde intérieur autonome, alors qu'elles ne sont que des processus physiques qui modélisent, de manière partielle et pragmatique, certains aspects du monde.

L'illusion des conceptions

Au sein des représentations mentales, l'esprit humain élabore des conceptions : des constructions intellectuelles qui organisent et interprètent l'expérience. Le cerveau catégorise, distingue, nomme, classe et applique des étiquettes aux choses, aux êtres et aux situations. À partir de ces opérations se développent des visions du monde, des systèmes d'interprétation, des croyances et des cadres logiques dans lesquels les phénomènes sont compris. L'esprit peut alors manipuler ces constructions, les combiner, les étendre, les contester ou même bâtir des interprétations d'interprétations. Autour de ce travail conceptuel, le moi se constitue un paradigme personnel fait de modèles de pensée, d'attitudes mentales, de valeurs et de mentalités qui donnent à l'individu une impression de cohérence et de stabilité. Les conceptions donnent ainsi l'impression que le monde possède des divisions naturelles et des significations intrinsèques, alors qu'elles ne sont que des schémas interprétatifs élaborés par l'esprit humain.[186]

L'illusion de la cohérence

L'esprit humain tend spontanément à organiser ce qu'il perçoit et pense selon des schémas de cohérence. Les événements sont reliés entre eux, les phénomènes sont interprétés comme faisant partie d'un ordre intelligible, et l'ensemble du monde apparaît comme structuré selon une certaine rationalité. Cette tendance conduit à donner du sens aux choses, aux situations, au monde, à rechercher des explications, à construire des récits qui relient les faits entre eux et à percevoir l'univers comme un système globalement

[186] Le lecteur attentif notera que ce présent ouvrage, bourré de conceptions, n'est qu'une émanation illusoire du cerveau de son auteur. C'est pour la même raison que la Prajñāpāramitā s'annule elle-même en déclarant qu'« Il n'y a pas de Sentier, il n'y a pas de Sagesse, rien à atteindre ou ne pas atteindre. » En ce sens, il n'y a pas d'« Omnivers ».

compréhensible. La cohérence que nous percevons dans le monde donne l'impression que l'univers possède un ordre intelligible qui lui serait propre, alors qu'elle correspond, avant tout, à la manière dont le cerveau structure l'expérience pour la rendre exploitable.

L'illusion du destin

Nous avons tendance à interpréter notre propre existence comme une trajectoire orientée, une voie qui aurait un sens particulier et qui conduirait vers une forme d'accomplissement ou de fatalité. Les événements de la vie sont alors réorganisés en récit : certaines rencontres deviennent décisives, certaines épreuves apparaissent comme nécessaires, des coups de chance paraissent providentiels et l'ensemble finit par donner l'impression qu'un chemin personnel se dessine. Cette tendance s'étend également à la vie des autres et parfois à l'histoire collective, comme si chaque existence suivait une destinée déjà inscrite quelque part. Une grande part de cette impression provient de la relecture rétrospective des événements : après coup, les épisodes du passé sont réinterprétés de manière à former une continuité et à s'accorder avec l'idée d'un parcours qui aurait été, d'une certaine manière, prévu ou « écrit ». Le sentiment de destin naît du travail narratif du cerveau, qui relie les souvenirs, sélectionne certains événements et leur attribue une signification globale. Le destin apparaît ainsi comme une interprétation rétrospective de la vie plutôt que comme une propriété réelle du monde.

L'illusion de la spatialité

Notre impression immédiate est que nous vivons dans un espace tridimensionnel clairement structuré par la longueur, la largeur et la hauteur, au sein duquel les objets seraient disposés à différentes distances dans la profondeur de l'espace, et y occuperaient des positions définies. Cette spatialité paraît évidente : nous situons les choses devant ou derrière nous, proches ou lointaines, à droite ou à gauche, en haut ou en bas. Pourtant, ce que nous appelons espace tridimensionnel est d'abord une construction perceptive élaborée par le cerveau à partir d'indices sensoriels multiples : vision stéréoscopique, mouvement du corps, variations de perspective, parallaxes, informations tactiles et vestibulaires. Le cerveau combine

ces signaux afin de produire un modèle spatial cohérent dans lequel l'organisme peut se repérer et agir. La spatialité est un modèle fonctionnel, produit par le cerveau, pour rendre l'environnement manipulable et intelligible à l'échelle humaine.

L'illusion de la temporalité

« Ô temps ! suspends ton vol, et vous, heures propices ! Suspendez votre cours. »[187] L'expérience ordinaire donne l'impression que le temps s'écoule, au point que parfois, certains opportunistes voudraient l'arrêter. Un passé s'éloigne derrière nous, un présent se déroule maintenant et un futur s'ouvre devant nous. Les horloges mesurent ce passage, tandis que le corps lui-même semble posséder des rythmes internes qui scandent les durées. La mémoire conserve les traces du passé, les souvenirs organisent l'histoire personnelle et collective et l'anticipation projette l'esprit vers ce qui pourrait advenir[188]. L'ensemble crée la sensation illusoire d'une succession continue d'instants qui se dérouleraient les uns après les autres.

L'illusion du mouvement

Nous avons l'impression que tout est en mouvement. Nous nous levons, marchons, nous nous asseyons, nous tapons sur le clavier de l'ordinateur. Autour de nous, les choses semblent également se mouvoir : un oiseau traverse le ciel, un avion de ligne file très haut, un chat accroupi dans l'herbe bondit soudain en direction d'un papillon qui lui échappe en s'envolant, le feuillage oscille sous le vent, les vagues roulent sur la plage, les voitures circulent sur la route, et même le soleil paraît parcourir le ciel au fil de la journée. Le monde se présente ainsi comme un ensemble d'objets qui changent de position dans l'espace au cours du temps. L'impression de

[187] Alphonse de Lamartine, *Le Lac* (1820).

[188] Des travaux en neurosciences ont montré que les régions cérébrales impliquées dans la mémoire du passé sont largement les mêmes que celles mobilisées lorsque nous imaginons le futur. L'hippocampe et plusieurs régions du cortex associatif participent à la construction de souvenirs comme à la simulation d'événements futurs. Le cerveau ne « voit » donc pas réellement le futur : il recombine des fragments d'expériences passées pour élaborer des scénarios possibles. Autrement dit, le futur imaginé apparaît en grande partie comme un passé « futurisé » (Schacter, Addis, Buckner, 2007).

déplacement naît du fonctionnement du cerveau, qui compare des états perceptifs successifs et les interprète comme la transformation continue d'un même objet.

L'illusion de l'énergie

Dans la description scientifique du monde, l'énergie apparaît comme une grandeur fondamentale : elle permet de décrire le travail, les transformations physiques, les échanges entre systèmes et les équilibres dynamiques. Elle semble circuler, se transformer d'une forme en une autre (mécanique, thermique, chimique, électromagnétique). Elle peut se conserver ou se dégrader. Dans la vie quotidienne, tout comme dans le langage scientifique, nous parlons ainsi d'une énergie qui se transmet, qui se stocke, qui se dissipe ou qui se dégrade. Concept abstrait, l'énergie sert essentiellement à exprimer des relations entre états physiques et à formuler des principes généraux. Construite progressivement comme un concept théorique, l'énergie est entièrement le produit du cerveau humain.

L'illusion des interactions fondamentales

La physique décrit l'univers à l'aide d'un petit nombre d'interactions fondamentales : l'électromagnétisme, l'interaction forte, l'interaction faible et la gravitation. Dans le langage courant, ces interactions sont souvent présentées comme des forces qui agiraient à distance ou comme des champs qui rempliraient l'espace et exerceraient leur influence sur les particules et les corps. Cette manière de parler donne l'impression qu'il existerait dans la nature des entités dynamiques qui pousseraient, attireraient ou maintiendraient les choses ensemble. La mécanique quantique donne toutefois un caractère insaisissable à ces entités. À l'échelle où ces interactions sont censées s'exercer, les entités qui les portent ne peuvent plus être décrites comme des objets bien définis. Les travaux, de Schrödinger et d'Heisenberg, ont montré que les particules et les champs ne possèdent ni position ni trajectoire déterminées au sens classique : ils sont décrits par une fonction d'onde, des probabilités et des opérateurs mathématiques. L'indétermination quantique empêche d'attribuer aux constituants ultimes de la matière des propriétés précises indépendamment de la détection et de la mesure. Dans ces conditions, les « forces » ou les

« champs » apparaissent moins comme des réalités tangibles que comme des structures conceptuelles qui permettent d'organiser et de calculer les régularités observées. Les interactions fondamentales deviennent alors des outils intellectuels extrêmement efficaces : elles n'existent pas comme des entités que l'on pourrait saisir directement, mais comme des modèles purement mathématiques, fruits du travail intellectuel du cerveau humain, qui décrivent avec une grande précision les corrélations entre phénomènes.

L'illusion des lois de la Nature

La science décrit l'univers à l'aide de lois : lois du mouvement, lois de la gravitation, équations de l'électromagnétisme, principes de la thermodynamique. Ces lois donnent l'impression qu'il existe dans la Nature des règles profondes qui gouvernent les phénomènes et dirigent leur évolution. Le monde semble ainsi obéir à une sorte de code universel qui détermine ce qui peut ou ne peut pas se produire. Pourtant, ces lois sont des descriptions que nous formulons, à partir de notre travail intellectuel, pour rendre compte des régularités observées dans le monde. Ce que nous appelons lois de la Nature correspond donc à des modèles mathématiques qui résument ces régularités et permettent de prévoir certaines relations entre divers états du monde. Cependant, les lois de la Nature, en elles-mêmes, restent des formulations conceptuelles produites par l'esprit humain pour décrire l'ordre que nous reconnaissons dans la structure de l'univers.

L'illusion de la causalité

Dans l'expérience ordinaire, comme dans la pensée scientifique, les phénomènes sont interprétés selon des relations de cause et d'effet. Un événement serait la cause d'un autre, qui en serait la conséquence. Pourtant, cette représentation simplifie fortement la réalité. Dans la plupart des situations, un phénomène ne résulte pas d'une cause unique, mais d'un ensemble de conditions simultanées : facteurs physiques, biologiques, environnementaux et historiques, qui convergent pour produire un certain état du monde. La causalité apparaît ainsi comme une pluralité de conditions plutôt que comme une chaîne simple reliant une cause isolée à un effet déterminé. De plus, il est impossible d'identifier un moment précis où la cause

« devient » effet : ce que nous appelons cause et ce que nous appelons effet ne sont que deux manières de découper un processus continu. Ce que nous appelons causalité correspond alors à la manière dont le cerveau organise et interprète ces relations afin de comprendre et d'anticiper les phénomènes.

EN CONCLUSION

Les illusions, rattachées au mythe de la conscience, se présentent dans deux domaines : le domaine cérébral et le domaine relativiste. Le premier domaine relève du fonctionnement du cerveau, qui construit le moi, son agentivité et son libre arbitre. Ce moi-cerveau traite mentalement des informations externes, les sensations-perceptions. Il traite aussi en interne des contenus informationnels : représentations mentales, conceptions, cohérence et destin. C'est toujours ce moi-cerveau qui situe le moi dans l'univers entre spatialité, temporalité, mouvement, énergie. Et dans des domaines plus spécialisés : interactions fondamentales et lois de la Nature.

Le second domaine tient à la manière dont nous nous représentons la structure même du monde. L'expérience quotidienne nous donne l'impression de vivre dans un univers ordinaire : un espace tridimensionnel dans lequel les choses se déplacent, où les événements apparaissent puis disparaissent, où le présent succède au passé et ouvre vers un futur encore indéterminé. Pourtant, la description relativiste de l'univers conduit à une image très différente.

L'univers n'y apparaît plus comme un théâtre où les choses adviennent successivement, mais comme une structure quadridimensionnelle d'espace-temps, dans laquelle tous les événements sont distribués. Dans cette structure s'étendent les lignes d'univers de tous les objets et de tous les processus physiques : particules, champs, atomes, roches, plantes, animaux, humains, planètes, étoiles et galaxies. Chaque entité y correspond à une trajectoire complète inscrite dans le tissu de l'espace-temps, plutôt qu'à un objet qui existerait seulement à l'instant présent. Les lignes d'univers s'étendant depuis l'après *Big Bang*, jusqu'à l'une des fins hypothétiques de l'univers.

L'illusion relativiste consiste alors à se croire immergé dans un monde où le temps s'écoule et où les choses adviennent, alors que la

description physique suggère une réalité complètement différente où passé, présent et futur existent également dans l'univers-bloc.

Une dernière illusion renforce cette représentation ordinaire du monde : celle produite par le gradient d'entropie de notre univers issu du *Big Bang*. L'augmentation de l'entropie introduit une asymétrie entre les états du passé et ceux du futur, permettant la formation de traces, de mémoires et de processus irréversibles. Cette asymétrie donne l'impression d'un temps qui s'écoule et d'événements qui se déroulent, alors qu'elle correspond simplement à certaines propriétés statistiques de l'univers. C'est cette asymétrie entropique (faible entropie au début de l'univers et entropie croissante depuis), qui explique la conscience et toutes ces illusions[189].

Entre les deux domaines d'illusion, il apparaît ainsi une hiérarchie. L'illusion relativiste est le contenant des illusions cérébrales. C'est parce que nous sommes persuadés de vivre dans un univers tridimensionnel, avec un temps qui s'écoule, que se développe les illusions cérébrales, qui construisent finement un moi, en action, avec son libre arbitre, etc. Sortir des illusions cérébrales est à peine accessible par le processus de méditation bouddhique. Sortir de l'illusion relativiste demande ensuite des connaissances scientifiques importantes (théorie de la relativité) et une bonne dose d'imagination pour pouvoir manipuler les métaphores, les images évocatrices, dialoguer avec « démons » et « démones », visualiser…

Sortir de ces illusions conduit finalement à une remise en cause plus profonde encore : celle de l'anthropocentrisme. Tant que nous interprétons le monde à partir du moi, de ses perceptions, de ses intentions et de ses récits, l'être humain demeure le centre implicite de la réalité. Mais lorsque les illusions cérébrales et l'illusion relativiste commencent à se dissiper, cette centralité perd de son évidence. L'être humain apparaît alors comme une forme particulière, parmi d'autres, dans l'immense structure de l'univers. La prochaine et dernière partie de cet ouvrage sera consacrée à cette conséquence majeure : la fin de l'anthropocentrisme et la tentative de penser le cosmos sans le prendre pour un monde fait à notre mesure.

[189] Carroll, 2022b.

Septième partie

LA FIN DE L'ANTHROPOCENTRISME

1. L'illusion anthropique

Un ensemble d'illusions nous dissimule la réalité fondamentale, sa vacuité, et nous présente à la place un monde de fantasmagories objectives, existentielles et chatoyantes. Nous percevons des choses et des êtres comme dotés d'une existence propre, en soi, indépendants les uns des autres. Certes, nous pressentons parfois, comme une vague impression en arrière-plan, la dépendance des choses et des êtres, mais cette impression demeure ténue, à peine esquissée, semblable à une fine brume qui se dissipe aussitôt. Nous oublions ainsi que les choses et les êtres n'apparaissent qu'en dépendance les uns des autres, selon ce que le bouddhisme nomme la « coproduction conditionnée ».

Dans la pensée bouddhique, la coproduction conditionnée et la vacuité appartiennent au même registre : celui de la réalité telle qu'elle est. Elles décrivent toutes deux la structure réelle des phénomènes. La coproduction conditionnée exprime le fait que tout apparaît en dépendance de causes et de conditions ; la vacuité exprime que, pour cette raison même, rien ne possède d'existence propre. L'illusion se situe ailleurs : elle consiste précisément à croire que les choses existent en soi, de façon autonome, séparées les unes des autres. C'est cette réification spontanée du monde que la pensée bouddhique cherche à dissiper. Autrement dit, l'illusion est la croyance en des entités substantielles ; la compréhension de la coproduction conditionnée et de la vacuité relève au contraire de la vision correcte du réel.

Dans la courte liste de nos illusions, nous avons vu celle des conceptions. Le cerveau catégorise, distingue, nomme, classe et applique des étiquettes aux choses et aux êtres. L'esprit peut alors manipuler ces concepts, les combiner, les étendre, se les approprier, les rejeter ou les ignorer selon les circonstances. Dans la rue, le regard s'approprie un bel homme, une belle femme, une magnifique voiture ; on peut réagir nerveusement en croisant une personne d'une autre origine, un chien, parce qu'on ne les aime pas, ou le fourgon de livraison qui encombre la voie ; on passera indifférent devant le sans-logis sur le trottoir, couché sur son carton. Les conceptions donnent ainsi l'impression que les objets et les êtres se

divisent naturellement en innombrables catégories implicites et qu'ils possèdent, en eux-mêmes, des significations.

Un mot nouveau peut être ici utilement introduit : indexation. Le terme appartient aux théories de l'information. L'indexation est une information à propos d'une information. Par exemple, vous possédez une bibliothèque d'une centaine de livres. Pour vous y retrouver, vous ouvrez un tableur et vous créez un index. Vous indexez vos livres en les classant par genres, années d'édition, auteurs, éditeurs, nombre de pages, etc. Toute cette information d'indexation porte sur une autre information : les livres eux-mêmes, à la fois objets matériels et porteurs de texte, donc d'information. Une information à propos d'une autre information.

Notre cerveau fonctionne à partir de nombreuses indexations qui habillent le réel et le traduisent en « notre réalité ». Essayez de regarder un texte écrit dans un alphabet que vous savez lire, ou mieux encore dans votre propre langue. Essayez simplement de le regarder sans le lire. Vous constaterez que c'est pratiquement impossible. Lorsque j'étais enfant, durant les longs trajets en voiture, chargés d'ennui, je m'amusais à tenter de regarder les panneaux routiers ou les panneaux publicitaires sans les lire. Devant l'impossibilité de la tâche, j'ai ainsi commencé à découvrir le caractère automatique et impérieux du fonctionnement cérébral. Notre cerveau indexe en permanence, immédiatement et de façon automatique les signes qu'il perçoit et les transforme en mots, en significations. Notre cerveau « lit », malgré nous, essayez !

Prenez un bol. N'importe quel bol : votre bol pour le café au lait du matin ou bien un bol tibétain chantant. C'est un objet simple et tangible. Pourtant, ce bol va prendre sens, va s'individualiser en quelque sorte, va devenir un objet apparemment indépendant parce qu'il est désigné au moyen d'une indexation comme « bol ». D'une part en tant que concept générique, « bol », qui renvoie à tous les bols et se différencie des assiettes ou des verres ; d'autre part en tant qu'objet particulier, « ce bol-là », en cet instant, ou « un bol tibétain », ou « le bol de mon ami », ou « mon bol », celui qui est ici, en ce moment.

Nous allons appliquer à ce bol diverses indexations, lui coller des étiquettes intellectuelles, même si cela se fait parfois réellement, par exemple dans une fratrie nombreuse où chaque enfant possède son « mon bol », bien marqué, afin d'éviter les conflits. Une fois indexé,

nous aurons l'illusion que ce bol occupe une place dans l'espace, à une certaine distance, avec une tridimensionnalité, tout au long d'une durée. S'y ajoutent des éléments de forme, de texture, de couleur. Et si j'utilise l'ustensile, pourront apparaître des éléments liés au toucher, à la sonorité, voire à l'odeur ou au goût. Tous ces éléments caractéristiques du bol sont des indexations qui le mettent en évidence. Chacune d'elles constitue une information à propos de l'information de base qu'est le bol lui-même, avant toute indexation. Mais comment faire pour voir véritablement ce « bol en soi » ?

Imaginez-vous membre d'une peuplade très primitive vivant dans un désert, comme dans le film *Les dieux sont tombés sur la tête*[190]. Remplacez la bouteille de Coca-Cola jetée d'un avion par un bol tibétain égaré par un lama éponyme qui passait par là. Dans votre tribu, jamais personne n'a fabriqué ni utilisé un tel objet. Il apparaît d'abord comme quelque chose d'incompréhensible, c'est-à-dire sans aucune indexation, sinon celle qui consisterait à dire « objet inconnu et incompréhensible ». Mais cela ne va pas durer. Les Bushmen sont des humains comme les autres. Leur cerveau va immédiatement se mettre au travail : observer, comparer, manipuler, tester. Peu à peu, des indexations vont apparaître, des usages possibles, des interprétations. L'objet va entrer dans le réseau des concepts, recevoir des noms, des fonctions, des significations. Rapidement, de « bol inconnu », ce bol deviendra un « c'est mon bol », un « c'est moi qui l'ai trouvé », un « c'est moi qui l'ai vu le premier » ou un « c'est le bol du chef », c'est le « bol des dieux », c'est un « bol maléfique », etc. Ce qui, un instant auparavant, n'était qu'une chose sans statut va devenir un objet du monde, pris dans le système des indexations humaines.

Pourtant, à la base, ce bol n'existe pas comme entité indépendante. Si l'on examine sa temporalité, on constate que la matière dont il est constitué, les métaux qui le composent, ont été synthétisés dans une étoile avant d'entrer dans la constitution de la croûte de notre planète dite rocheuse. Ces métaux ont ensuite été extraits, travaillés et façonnés par le génie humain pour produire cet objet particulier, doté de cette forme circulaire et concave que nous appelons un bol.

[190] Réalisé par Jamie Uys, 1980.

Figure 54 Ce bol n'existe pas, en soi, comme entité indépendante. Il n'est qu'une construction mentale à base de concepts, noms, fonctions, significations…

Par la suite, au bout de milliers, de millions ou de milliards d'années, ces mêmes métaux pourront se désagréger, les atomes se disperser, voire être transmutés au sein d'une étoile. Le bol aura alors totalement disparu. Même en ce moment, d'instant en instant, ce bol dépend de la gravité terrestre qui l'ancre au sol. Il dépend aussi des conditions atmosphériques qui peuvent altérer son état de surface. S'il était propulsé dans le vide spatial, son devenir serait lié aux différents rayonnements cosmiques qui, au fil de millions d'années, finiraient par le désagréger. En un mot, ce bol dépend de tout : de tout ce qui l'a constitué et de tout ce qui le fera disparaître. On peut alors dire qu'il n'existe pas au sens d'une entité autonome. Il n'est qu'un élément parmi d'autres dans le magma des informations de l'univers. C'est cela que le bouddhisme désigne par la coproduction conditionnée : un phénomène qui n'apparaît qu'en dépendance de multiples causes et conditions (rien ne surgit par soi-même, tout apparaît parce que d'autres phénomènes le rendent possible), et qui, pour cette raison même, est entièrement interdépendant (aucun phénomène ne possède d'existence autonome, chacun n'existe qu'en relation avec tous les autres).

Nous sommes dans une expérience de pensée. À partir d'un objet extrêmement simple, un bol tibétain, nous avons appliqué toute une série d'indexations : un nom, une fonction, une forme, une place dans l'espace, une durée dans le temps, des qualités sensibles. Peu à peu, cet objet nous est apparu comme une chose stable et indépendante. Pourtant, en examinant ce bol avec un peu plus d'attention, nous avons vu qu'il n'existe jamais par lui-même. Sa matière provient des étoiles, son existence dépend de multiples conditions physiques, chimiques et environnementales, et son devenir est déjà inscrit dans les processus qui finiront par le transformer et le dissoudre. Le bol que nous pensions simple et autonome se révèle alors être un phénomène conditionné et interdépendant : conditionné parce qu'il apparaît et disparaît à partir d'une multitude de causes et de conditions, interdépendant parce qu'il n'existe qu'au sein du réseau de relations qui le constituent.

Nous allons maintenant poursuivre exactement la même expérience de pensée, mais cette fois non plus avec un bol, simple objet du monde, mais avec l'être humain lui-même. Là encore, notre esprit commence par appliquer des indexations : un nom, une identité, une histoire personnelle, une profession, une nationalité, un

caractère, un « moi ». Tout cela donne l'impression d'un individu séparé, doté d'une existence propre. Pourtant, si l'on examine cet être humain avec la même attention que nous avons portée au bol, la même structure apparaît. Son corps provient de la matière des étoiles, sa vie dépend de l'air, de l'eau, de la nourriture, de l'écosystème terrestre, de l'histoire biologique et culturelle de l'espèce. Même sa pensée, ses émotions et ses décisions émergent d'un ensemble extrêmement complexe de conditions biologiques, neurologiques, sociales et historiques. L'être humain que nous croyions autonome se révèle alors, lui aussi, être un phénomène conditionné et interdépendant, une configuration particulière au sein de l'immense réseau des relations qui composent l'univers.

On peut appeler « illusion anthropique » la tendance spontanée de l'esprit humain à se considérer, lui-même, comme « être humain » occupant une position centrale, privilégiée ou finalisée dans l'univers. Cette illusion consiste à interpréter le monde, son organisation et ses lois physiques comme s'ils étaient, d'une manière ou d'une autre, orientés vers l'apparition de l'homme, vers sa présence ou vers sa conscience. L'univers est alors implicitement lu comme un décor, un dispositif ou une histoire dont l'être humain constituerait le point d'aboutissement.

Cette illusion repose sur plusieurs mécanismes cognitifs. D'abord, notre cerveau indexe le monde à partir de notre propre point de vue perceptif et biologique : nous percevons l'univers depuis la Terre, depuis notre espèce, depuis notre système sensoriel. Ensuite, nous avons tendance à projeter des intentions, des finalités ou des significations sur les structures naturelles. Enfin, la conscience humaine, capable de réflexion sur elle-même et sur le cosmos, nous donne facilement l'impression d'être quelque chose d'exceptionnel, voire d'essentiel dans l'économie de l'univers.

Du point de vue scientifique, rien ne permet pourtant d'affirmer que l'univers a été fait pour l'homme ni qu'il converge vers lui. L'être humain apparaît plutôt comme une configuration biologique extrêmement tardive et contingente dans l'histoire cosmique, apparue sur une petite planète autour d'une étoile ordinaire, dans une galaxie parmi des centaines de milliards. L'illusion anthropique consiste précisément à oublier cette contingence et à réinterpréter le cosmos à partir de notre propre présence, comme si celle-ci constituait le centre ou la finalité de l'ensemble.

La question apparaît alors sous une forme particulière en cosmologie contemporaine avec ce que l'on appelle le principe anthropique. Dans sa version faible, il s'agit d'une simple remarque de méthode : nous observons un univers compatible avec notre existence parce que, si ce n'était pas le cas, nous ne serions pas là pour l'observer. Autrement dit, parmi l'immense variété d'états possibles de l'univers, nous ne pouvons constater que ceux qui permettent l'apparition d'observateurs comme nous. Le principe anthropique faible ne dit rien sur une intention ou une finalité ; il se contente de rappeler un biais d'observation inévitable : voir l'univers à travers les « lunettes » de notre propre existence.

La version forte du principe anthropique introduit une idée beaucoup plus chargée de sens. Elle affirme, sous différentes formes, que l'univers doit posséder les propriétés nécessaires pour produire la vie et la conscience, comme si l'apparition d'observateurs faisait en quelque sorte partie de sa structure profonde, du plan cosmique. Dans certaines interprétations, l'univers semblerait presque orienté vers l'émergence de la conscience, ce qui réintroduit discrètement une forme de finalité cosmique : « la conscience humaine est le destin de l'univers ».

C'est précisément ici que se joue la sortie possible de l'illusion anthropique. Le principe anthropique faible peut être compris comme un simple effet de sélection : nous observons un univers compatible avec notre existence parce que seuls de tels univers peuvent être observés par des êtres comme nous. Mais le principe anthropique fort, lui, réinstalle l'être humain au centre du tableau cosmique. Il suggère, explicitement ou implicitement, que l'univers aurait pour vocation de produire des observateurs.

Sortir de l'illusion anthropique consiste alors à renverser cette perspective. L'univers n'est pas un dispositif destiné à produire l'homme ; l'être humain est une configuration extrêmement particulière et tardive au sein de l'évolution cosmique. Comme le bol tibétain de notre expérience de pensée, l'être humain est, lui aussi, un phénomène conditionné et interdépendant, apparu dans le réseau des causes et des conditions qui traversent l'histoire de l'univers. La conscience humaine n'est pas le but du cosmos ; elle est l'un de ses épisodes possibles. En ce sens, l'être humain n'est pas le centre de l'univers, mais une forme locale et transitoire dans l'immense dynamique de la coproduction conditionnée.

On peut résumer cette expérience de pensée en mettant en parallèle l'objet le plus simple et l'être humain lui-même : dans les deux cas, les indexations produisent l'illusion d'entités autonomes, alors qu'il s'agit en réalité de phénomènes conditionnés et interdépendants.

	Bol tibétain	**Être humain**
Illusions par indexations	Objet nommé « bol », doté d'une forme, d'un usage, d'une place dans l'espace et dans le temps. Il paraît être une chose stable et indépendante.	Individu nommé, doté d'une identité, d'un caractère, d'une histoire personnelle. Il paraît être un « moi » autonome et séparé.
Coproduction conditionnée	Assemblage provisoire de métaux issus des étoiles, façonné par l'activité humaine et dépendant de multiples conditions physiques et environnementales.	Configuration biologique et mentale issue de l'évolution cosmique et terrestre, dépendante de l'air, de la nourriture, de la société, de la culture et d'innombrables causes et conditions.

Ce tableau montre que la différence entre un simple objet, un bol tibétain, et l'être humain, est beaucoup moins profonde que notre intuition ne le croit. Dans les deux cas, l'esprit applique des indexations : des noms, des catégories, des fonctions, des identités. Ces indexations donnent l'impression qu'il existe des choses distinctes, stables, dotées d'une existence propre. Le bol tibétain devient un objet autonome, l'être humain devient un « moi ». Mais dès que l'on quitte le niveau des étiquettes pour examiner les conditions réelles d'existence, la même structure apparaît. Le bol tibétain, comme l'être humain, ne sont que des configurations provisoires issues d'un réseau immense de causes et de conditions. L'un et l'autre existent seulement de manière relationnelle, dépendante et transitoire. La différence entre eux n'est donc pas une différence de nature, mais seulement de complexité. Sous la Joconde, Magritte aurait pu écrire « Ceci est un bol tibétain ».

Allons plus loin encore. Situons le bol tibétain et l'homme dans l'univers-bloc. La coproduction conditionnée, cette interdépendance

où tout apparaît en dépendance de causes et de conditions et où la vacuité retire à tout toute d'existence propre, se double de l'entremêlement des lignes d'univers, et du bol tibétain et de l'homme. Imaginez la torsade du bol et de l'humain, lorsque celui-ci le prend, le dépose devant ses chevilles, le fait chanter en tournant le pilon sur sa bordure… Et puis, placez tout cela, cette torsade quadridimensionnelle, dans la fractale omniverselle. Fin de l'illusion anthropique.

2. L'humain décentré

Parfois le poète sait se faire cosmologue et philosophe, et les dépasser car y ajoutant la beauté :

> « Homme, te figures-tu donc être, par aventure,
> Autre chose qu'un point dans l'aveugle nature ?
> Toi, l'homme, cendre et chair, te persuades-tu
> Que d'une fonction l'ombre t'a revêtu ?
> Quel droit te crois-tu donc à chercher, à poursuivre,
> À saisir ce qui peut exister, durer, vivre,
> À surprendre, à connaître, à savoir, toi qui n'es
> Qu'une larve, et qui meurt aussitôt que tu nais ?
> J'admire ton néant inouï s'il suppose
> Qu'il est par l'infini compté pour quelque chose ! »[191]

Dans ce fragment du poème « Dieu », Victor Hugo renverse radicalement la perspective humaine : l'homme qui se croit centre, sujet connaissant et maître du sens est ramené à une position infinitésimale dans l'immensité de la nature. « Un point dans l'aveugle nature » retire à l'univers toute intention ou finalité orientée vers l'homme. L'être humain, « cendre et chair », n'est qu'un épisode fragile et transitoire, une « larve » à la vie brève, au sein d'un processus cosmique qui le dépasse de toutes parts. Le poète exprime alors, sans aucune ambiguïté, l'illusion anthropique : « J'admire ton néant inouï s'il suppose – Qu'il est par l'infini compté pour quelque chose ». L'homme se croit compté dans l'économie de l'univers, comme si l'infini devait lui accorder une place particulière. L'homme cesse d'être le centre et devient une configuration insignifiante, parmi d'autres, dans l'immensité cosmique.

Le parochialisme cosmologique ou la tentation du centre. Depuis que l'homme lève les yeux vers le ciel, il se voit partout au milieu. Ce réflexe d'anthropocentrisme, l'esprit de clocher (paroisse) appliqué à l'univers, traverse toute l'histoire de la pensée. C'est la tendance à

---

[191] Victor Hugo, in *La légende des Siècles*, Dieu, IX.

ramener l'immense à la mesure de l'humain, à croire que le cosmos s'organise autour de notre point d'observation, de notre planète, de notre galaxie, ou même de notre théorie préférée.

Dans l'Antiquité, la Terre trônait immobile au centre des sphères. Lorsque Copernic déplaça le Soleil au centre, on crut s'être affranchi du géocentrisme, mais ce fut pour inventer un nouvel héliocentrisme : le même cercle, déplacé d'un cran. Et quand l'astronomie moderne révéla que le Soleil n'est qu'une étoile parmi des milliards, l'orgueil humain se réfugia dans la Voie lactée, supposée unique, avant de découvrir qu'elle n'était qu'une galaxie parmi des milliards d'autres. Chaque révolution du savoir nous décentre, mais notre imaginaire nous recentre aussitôt. Nous changeons de centre comme de chemise ; le besoin d'habiter le milieu du monde semble indéracinable.

Même la science contemporaine, pourtant armée de télescopes et d'équations, n'échappe pas à ce biais discret : la plupart des modèles cosmologiques se fondent sur ce que nous pouvons observer depuis notre bulle d'horizon. Nous prenons la carte locale pour le territoire global. Le *Big Bang* devient un événement universel, alors qu'il pourrait n'être qu'une histoire régionale ; notre univers observable, un simple fragment d'une structure plus vaste. Beaucoup de chercheurs, même ouverts à la pluralité quantique, rejettent encore l'idée de multivers comme une offense à la parcimonie scientifique. Comme si la réalité devait, par élégance, se limiter à notre champ de vision.

Ce parochialisme ne se manifeste pas seulement dans la science, mais dans le langage : nous parlons du « haut » et du « bas » de l'univers, du « centre » galactique, des « limites » du cosmos, comme si ces repères avaient encore un sens en l'absence d'absolu. Il est plus rassurant de dessiner des contours que d'admettre l'infini. Nous préférons un cosmos fini, habitable par la raison, à un univers sans bord où toute signification se dilue.

Pourtant, chaque étape de la cosmologie a consisté à repousser ces frontières mentales. Du ciel des dieux à l'espace-temps d'Einstein, de la Voie lactée d'Herschel aux galaxies d'Hubble, de l'univers unique aux multivers de Tegmark, l'histoire des idées est celle d'un décentrement continu. Et cependant, nous restons terriens jusque dans nos équations. Même nos hypothèses les plus audacieuses gardent la trace de cette nostalgie du centre : le désir que le réel se

conforme à la taille de notre esprit (et de notre cerveau, pourrait-on ajouter).

Le parochialisme cosmologique est, en somme, notre dernier abri métaphysique. Tant que nous tenons à n'avoir qu'un seul univers, c'est encore de nous que nous parlons : de notre besoin d'un monde familier, clos, mesurable. Nous sommes encore les autochtones du cosmos. Mais si celui-ci est vraiment infini, si les multivers s'emboîtent à l'infini dans des fractales d'omnivers, alors se contenter d'un seul multivers serait peut-être… un peu mesquin. La conclusion s'impose donc : l'homme n'est plus au centre, et comme l'univers n'a pas de centre, du coup, l'homme disparaît totalement.

Pour mieux comprendre, faisons des étincelles. L'étincelle comme unité des formes d'humanité. Si l'on se limite à l'humanité au sens strict, celle d'*Homo sapiens*, son apparition remonte à environ 300 000 ans. À l'échelle de l'histoire cosmique, cette durée est presque imperceptible. L'univers a environ 13,8 milliards d'années et la Terre elle-même plus de 4,5 milliards d'années. L'humanité surgit donc extrêmement tard dans l'évolution du cosmos. Même si l'on se montre optimiste et généreux en imaginant une durée totale de l'humanité de 1 million d'années, cela resterait une durée infime comparée aux milliards d'années de l'histoire cosmique. Une telle humanité apparaîtrait alors comme un phénomène très bref, une configuration biologique et culturelle fugitive au sein d'un processus cosmique immensément plus long. Une étincelle.

Or l'histoire de l'univers est loin d'être terminée. Les étoiles continueront à se former pendant encore environ 100 000 milliards d'années. Pendant toute cette période, de nouvelles planètes pourront apparaître et certaines pourraient, en principe, abriter des formes de vie intelligentes. Si des humanités comparables à la nôtre surgissent ici ou là et si chacune ne dure qu'environ 1 million d'années, leur existence resterait toujours extrêmement brève par rapport à la durée totale de cette époque cosmique. Chaque humanité représenterait alors une très courte apparition dans l'immense déroulement du temps cosmique. Des étincelles.

Dans un univers-bloc, on pourrait alors imaginer une multitude d'étincelles très brèves apparaissant ici ou là dans l'histoire cosmique, chacune durant environ 1 million d'années, dispersées dans une tranche temporelle qui commence vers 14 milliards d'années après le *Big Bang* et qui pourrait s'étendre jusqu'à environ

100 000 milliards d'années. Au-delà, la formation d'étoiles s'éteindra progressivement et les conditions favorables à la vie deviendront de plus en plus rares. L'univers entrera alors dans une très longue phase sombre dominée par les restes stellaires et les trous noirs.

Si l'on élargit encore la perspective et que l'on quitte l'échelle d'un seul univers pour envisager un multivers, l'image change d'échelle, mais la structure reste la même. Dans un multivers inflationnaire, chaque univers possède sa propre histoire cosmique, ses étoiles, ses planètes et éventuellement ses formes de vie. Les humanités possibles y apparaissent toujours comme des phénomènes extrêmement brefs : de minuscules étincelles de conscience dans l'immense durée cosmique propre à chaque univers. Mais ces étincelles ne sont plus dispersées dans un seul univers, elles le sont à travers une multitude d'univers différents, dont beaucoup ne sont même pas propices à l'apparition de la vie ou de la conscience. Seule une fraction d'entre eux réunissent les conditions physiques nécessaires à la formation d'étoiles, de planètes et d'une chimie complexe ; et parmi ceux-là, une fraction encore plus infime peut voir surgir, pour un instant cosmique, une humanité capable de se demander ce qu'est l'univers.

Si l'on pousse encore le raisonnement vers l'idée d'un ensemble de multivers, la distribution devient vertigineuse. L'étincelle change alors d'échelle. Ce ne sont plus seulement des humanités qui apparaissent brièvement dans le temps d'un univers, mais des univers eux-mêmes qui constituent les étincelles. Dans un multivers inflationnaire, d'innombrables univers peuvent surgir, chacun avec ses lois physiques, ses constantes et son histoire cosmique. Beaucoup d'entre eux ne permettront ni la formation d'atomes stables, ni celle d'étoiles, ni celle de planètes. Mais certains univers, plus rares, posséderont les conditions nécessaires à la formation d'étoiles et de mondes habitables.

Dans cette perspective, un multivers peut être imaginé comme un ensemble immense, au sein duquel apparaissent des étincelles d'univers susceptibles, peut-être, d'abriter à leur tour des étincelles d'humanité. La plupart de ces univers resteront silencieux, incapables de produire des structures complexes. Mais quelques-uns, pendant un certain temps de leur histoire cosmique, pourraient voir surgir ces brèves lueurs que sont les humanités conscientes.

À l'échelle d'une fractale omniverselle, l'image devient encore plus radicale. Des multivers entiers apparaissent et disparaissent, et parmi eux certains contiennent des univers capables d'engendrer des étoiles, des planètes et, très rarement, des humanités. L'omnivers sera alors presque entièrement obscur et silencieux, parsemé ici ou là d'étincelles d'univers, et dans certains de ces univers seulement, d'étincelles d'humanité qui, pour un instant cosmique, se mettent à réfléchir à l'ensemble dont elles ne perçoivent qu'une infime partie.

À cette échelle, le décentrement devient complet. L'être humain cesse d'apparaître comme le centre, le but ou le sens de l'omnivers. Il devient une configuration locale et transitoire dans l'immense déploiement du cosmos. Une humanité n'est qu'une brève étincelle dans l'histoire d'un univers ; un univers capable d'abriter une humanité n'est lui-même qu'une étincelle dans un multivers ; et les multivers eux-mêmes pourraient n'être que des étincelles dans une structure encore plus vaste : la fractale omniverselle.

À cette échelle, le décentrement devient complet. L'être humain cesse d'apparaître comme le centre, le but ou le sens de l'omnivers. Ce que l'on appelait autrefois « la place de l'homme dans l'univers » se dissout : l'humanité n'est plus qu'un phénomène parmi d'autres dans l'immense tissu des processus cosmologiques. Étincelle d'une étincelle, d'une étincelle, d'une étincelle… l'humanité apparaît alors comme une éphémère et infime lueur, totalement et définitivement décentrée dans la fractale omniverselle, signant la fin de l'humain centré.

3. L'humain hors sens

Une fois dissipée l'illusion anthropique, l'être humain cesse d'apparaître comme le centre, la finalité ou même la mesure du cosmos. Dans une fractale omniverselle où les univers et multivers se multiplient et s'imbriquent à toutes les échelles, l'humanité n'est plus qu'un phénomène local, transitoire, une configuration particulière de matière organisée au sein d'un univers parmi une infinité d'autres. Le sens ne peut donc plus être cherché dans une centralité cosmique ni dans une destination privilégiée de l'espèce. Il se déplace vers une compréhension lucide de notre condition : une émergence extrêmement improbable de structures capables de se connaître elles-mêmes et de réfléchir à l'ensemble auquel elles appartiennent. Dans ce cadre, l'être humain n'est plus le but de l'univers, mais l'un de ses modes d'apparition réflexive.

Cette situation ouvre alors d'autres interrogations, peut-être plus radicales. Si univers, multivers, fractale omniverselle ne sont pas produits pour l'homme, comment penser la place d'une conscience capable de saisir une partie de cette structure ? Que signifie l'apparition locale d'êtres humains, capables de reconstruire intellectuellement l'histoire cosmique, depuis le fond diffus jusqu'aux structures galactiques, puis d'imaginer l'existence d'innombrables multivers ? L'une des grandes questions devient alors celle du rapport entre la complexité matérielle et l'émergence de la conscience : pourquoi certaines régions de l'omnivers produisent-elles des systèmes capables d'expérience et de pensée, alors que l'immense majorité de la fractale demeure silencieuse ?

Une autre question concerne la portée réelle de cette conscience. Dans un univers-bloc ou dans un ensemble de blocs universels, ce que nous appelons expérience, décision ou histoire personnelle n'est qu'une trajectoire particulière inscrite dans la structure globale de l'espace-temps. L'être humain se découvre alors comme un phénomène déterminé, traversé par des chaînes causales qui remontent aux conditions initiales du cosmos. La question du libre arbitre, déjà fragilisée par les neurosciences et la physique, devient une interrogation sur la nature même de l'expérience subjective : comment une illusion de liberté peut-elle émerger d'un univers entièrement déterminé ?

Enfin, se pose la question la plus vertigineuse : celle de la signification même de la connaissance. Si l'omnivers fractal est potentiellement infini, l'intelligence humaine ne peut en saisir qu'une portion minuscule. Pourtant, cette petite région de matière organisée parvient à reconstruire des lois générales, à formuler des modèles cosmologiques et à concevoir l'existence d'échelles qui la dépassent radicalement. L'être humain apparaît alors comme une étincelle cognitive dans un ensemble cosmique immensément plus vaste que lui. La grande question contemporaine n'est peut-être plus « quelle est la place de l'homme dans l'univers ? », mais plutôt : comment une parcelle de l'omnivers en est-elle venue à se penser elle-même ?

Les cinq questions qui précèdent proviennent d'une interrogation plus générale portant sur le sens même de l'être humain au sein d'un cosmos fractalisé. Si l'univers, les multivers et la fractale omniverselle ne sont pas produits pour l'homme, comment penser la place d'une conscience capable d'en saisir une portion ? Que signifie l'apparition locale d'êtres humains capables de reconstruire intellectuellement l'histoire cosmique, depuis le fond diffus jusqu'aux structures galactiques, puis d'imaginer l'existence d'innombrables multivers ? Pourquoi certaines régions de l'omnivers produisent-elles des systèmes capables d'expérience et de pensée alors que l'immense majorité de la fractale demeure sans conscience ? Comment une illusion de liberté peut-elle émerger d'un univers entièrement déterminé ? Et enfin comment une parcelle de l'omnivers en est-elle venue à se penser elle-même ?

Ces interrogations peuvent se reformuler en cinq sous-problèmes plus synthétiques. Elles concernent d'abord la place de la conscience dans un cosmos non anthropocentrique. Elles portent ensuite sur l'émergence d'une intelligence cosmologique dans une région locale de l'univers. Elles interrogent également la distribution extrêmement inégale de la conscience dans la fractale omniverselle. Elles conduisent à examiner l'émergence phénoménale du libre arbitre dans un univers déterministe. Et elles se terminent enfin sur la question de l'autoréflexivité locale de l'omnivers.

À partir de là, surgit la question ultime : quel sens peut encore être attribué à l'être humain dans la fractale omniverselle ? Deux réponses sont possibles. Nous pouvons choisir de maintenir l'idée d'un sens propre à l'humain, mais il faudra alors pouvoir en proposer

une définition qui ne repose plus sur une centralité cosmique disparue, tâche qui demeure un défi considérable. Ou bien nous pouvons considérer que l'humain ne possède, en lui-même, aucun sens particulier, qu'il n'est qu'une configuration locale et passagère de la matière, et qu'il faut alors le placer « hors sens » dans l'économie générale de l'omnivers.

Maintenir l'idée d'un sens propre à l'humain, sans pouvoir l'ancrer dans une centralité cosmique désormais abandonnée, devient une tâche qui concerne plusieurs traditions de pensée. Elle relève d'abord des philosophes, qui ont historiquement assumé la question du sens de l'existence lorsque les cadres cosmologiques se transforment. Elle concerne également les traditions religieuses, dont beaucoup reposent sur l'idée d'une création ordonnée autour de l'homme et qui doivent alors reformuler leur anthropologie dans un univers immensément plus vaste et indifférent. Elle touche aussi, plus récemment, certains scientifiques et penseurs de la cosmologie contemporaine, qui s'interrogent sur la signification de l'émergence de la conscience dans un univers régi par des lois physiques impersonnelles. La question du sens de l'humain, une fois dissipée l'illusion anthropocentrique, cesse ainsi d'être l'affaire d'un seul domaine : elle devient un problème transversal, à la frontière de la cosmologie, de la philosophie et des visions spirituelles du monde.

Dans cet ouvrage, armé d'une pensée que l'on voudra résolument lucide, nous abandonnerons aux philosophes, aux traditions religieuses et aux scientifiques qui souhaitent y persévérer, la sempiternelle question d'un sens cosmique à attribuer à l'humanité. La tentation de sauver une signification particulière de l'homme dans l'économie générale du cosmos demeure forte, mais elle repose presque toujours, explicitement ou non, sur les restes d'un anthropocentrisme ancien.

Pour notre part, nous suivrons une autre voie. Dans la perspective de la fractale omniverselle, l'être humain n'est porteur d'aucun sens cosmique propre. Il constitue simplement une configuration locale, transitoire, de matière organisée capable de se représenter une portion de la structure à laquelle elle appartient. En ce sens, l'humain est hors sens, et l'ensemble de cet ouvrage n'aura cessé d'en exposer, d'en justifier et d'en assumer les conséquences.

Hors sens parce que nous avons dépassé les cosmologies perceptives et symboliques qui plaçaient l'humain au centre de

mondes immédiatement lisibles. Hors sens parce que nous avons dépassé les cosmologies théologiques relationnelles qui faisaient de l'homme l'interlocuteur privilégié du cosmos et des puissances qui l'habiteraient. Hors sens parce que nous avons dépassé l'univers sidéral, celui des étoiles fixes qui entouraient la Terre comme une scène ordonnée pour l'existence humaine. Hors sens parce que nous avons dépassé l'univers de Hubble et découvert un cosmos en expansion où notre galaxie n'est qu'une parmi des centaines de milliards d'autres. Hors sens parce que nous avons dépassé l'univers observable lui-même, en comprenant qu'il n'est qu'une portion limitée d'un ensemble plus vaste que l'horizon cosmique. Hors sens parce que nous avons dépassé l'univers-bloc, où le temps que nous croyons vivre n'est qu'une structure quadridimensionnelle déjà inscrite dans la géométrie de l'espace-temps. Hors sens parce que nous avons dépassé les multivers, qui dissolvent encore davantage l'idée d'un monde unique où l'homme pourrait prétendre occuper une position privilégiée. Hors sens parce que nous avons atteint la perspective de la fractale omniverselle, où les univers se multiplient et s'imbriquent sans centre ni finalité. Hors sens parce que nous avons compris la fonction du gradient entropique dans les illusions de notre conscience, révélant que notre sentiment d'écoulement du temps, de choix et de liberté relève d'un processus physique local. Hors sens, enfin, parce que nous avons démontré la fin de l'anthropocentrisme et reconnu que l'humanité n'est qu'une configuration passagère de matière organisée, apparue dans un coin de la fractale omniverselle et destinée, comme toute chose, à disparaître.

Dans le Bouddhisme aussi, la coproduction conditionnée place déjà l'humain hors sens : aucun être, aucune chose n'existe pour soi ni pour une finalité ultime, tout n'est qu'enchevêtrement de causes et de conditions. Cette intuition radicale rejoint aujourd'hui ce que révèle la cosmologie moderne. Avec la fractale omniverselle, l'univers cesse définitivement d'être un cadre ordonné autour de l'humanité. Les univers se multiplient, les structures se déploient sans centre ni destination, l'homme glisse, irrémédiablement englué dans ses lignes d'univers. **Et dans cet ensemble sans finalité, l'humain est, bel et bien… hors sens.**

4. Regarder par la fenêtre : une claustrophobie infinie

Imaginons un instant la scène la plus simple. Nous sommes dans une pièce, chez nous, et nous ouvrons la fenêtre. Le geste est banal. On tire les battants, l'air entre, et notre regard se porte vers l'extérieur. Selon l'endroit où l'on se trouve, on aperçoit un paysage, des collines, une ville, ou bien simplement le ciel. La nuit, ce ciel peut être étoilé. Des points lumineux y apparaissent, silencieux, lointains, comme suspendus dans une profondeur que notre regard peine à mesurer. Depuis toujours, l'être humain regarde par cette fenêtre. Depuis toujours, il imagine ce qu'il y a au-delà de ce qu'il voit.

Durant des millénaires, cette ouverture vers le dehors s'est accompagnée d'une conviction presque instinctive : il devait bien exister, quelque chose, derrière ce paysage cosmique. Un ordre, un centre, une destination, un sens. Les cosmologies perceptives et symboliques plaçaient l'humain au cœur du monde. Les cosmologies théologiques relationnelles faisaient de lui l'interlocuteur privilégié de l'univers et de ses puissances. Même l'univers sidéral des astronomes anciens conservait une certaine familiarité : un ciel clos, structuré, où les étoiles dessinaient des sphères régulières autour de la Terre.

Puis la fenêtre s'est ouverte davantage.

Avec la révolution copernicienne, la Terre a quitté le centre. Avec l'astronomie moderne, le ciel s'est peuplé d'une immensité d'étoiles. Au 20^{e} siècle, l'univers de Hubble a révélé des centaines de milliards de galaxies. L'univers observable lui-même s'est imposé comme une région limitée par un horizon cosmologique. Puis la physique relativiste a introduit l'univers-bloc, où le temps que nous croyons vivre se déploie comme une dimension de la structure globale de l'espace-temps. Les cosmologies inflationnaires ont ouvert la possibilité de multivers. La mécanique quantique, avec l'interprétation d'Everett, a introduit une autre forme de prolifération du réel, cédant la place à une multiplicité de mondes coexistants. Et enfin, la réflexion cosmologique contemporaine a laissé apparaître l'hypothèse vertigineuse d'une fractale

omniverselle : un ensemble d'univers s'engendrant et se déployant sans centre, sans bord, sans totalité accessible.

À chaque étape, la fenêtre s'est élargie.

Mais un phénomène inattendu s'est produit. Plus la fenêtre s'ouvrait, plus la place de l'humain se dissolvait. Ce qui apparaissait derrière la vitre n'était pas un paysage organisé autour de nous. C'était une structure de plus en plus vaste, de plus en plus indifférente, de plus en plus étrangère à toute finalité humaine.

Regarder par la fenêtre de l'omnivers revient alors à regarder dans une fractale cosmique. Une structure comparable à certaines images mathématiques comme les « Sapphires », où les formes se répètent, se déploient et se ramifient à l'infini. Où chaque niveau révèle d'autres niveaux. Où chaque région contient d'autres régions. Où aucune frontière ultime n'apparaît jamais.

Nous sommes là.

Et c'est précisément à cet instant qu'émerge un sentiment étrange, un oxymore presque impossible à formuler : une claustrophobie infinie. Car ce paysage cosmique, aussi vaste soit-il, n'est pas un dehors. Il est le tout. Nous ne regardons pas vers l'extérieur d'un système. Nous regardons l'intérieur de l'ensemble auquel nous appartenons. Et cet ensemble, par définition, n'a pas d'au-delà. Rien n'existe derrière lui. Rien ne l'enveloppe. Rien ne le dépasse.

La fractale omniverselle n'a pas d'extérieur.

Dans un tel cadre, l'idée même d'évasion disparaît. Il n'existe aucune sortie, aucune brèche, aucune frontière franchissable. Tout ce qui existe appartient déjà à cet ensemble. Même l'imagination, même les théories les plus audacieuses de la cosmologie, même les multivers, demeurent à l'intérieur de cette structure.

Nous sommes enfermés dans le tout.

C'est la dimension claustrophobique de la situation. Non pas l'enfermement dans un espace étroit, mais l'enfermement dans l'ensemble absolu. Le fait que rien ne puisse exister en dehors de ce qui existe. Et pourtant, cet enfermement ne possède aucune limite. La fractale omniverselle n'est pas un espace clos. Elle n'est pas une sphère cosmique. Elle ne possède pas de bord. Elle se déploie indéfiniment. Les univers s'y multiplient, les structures s'y répètent, les échelles s'y prolongent sans fin.

C'est la dimension infinie de la situation.

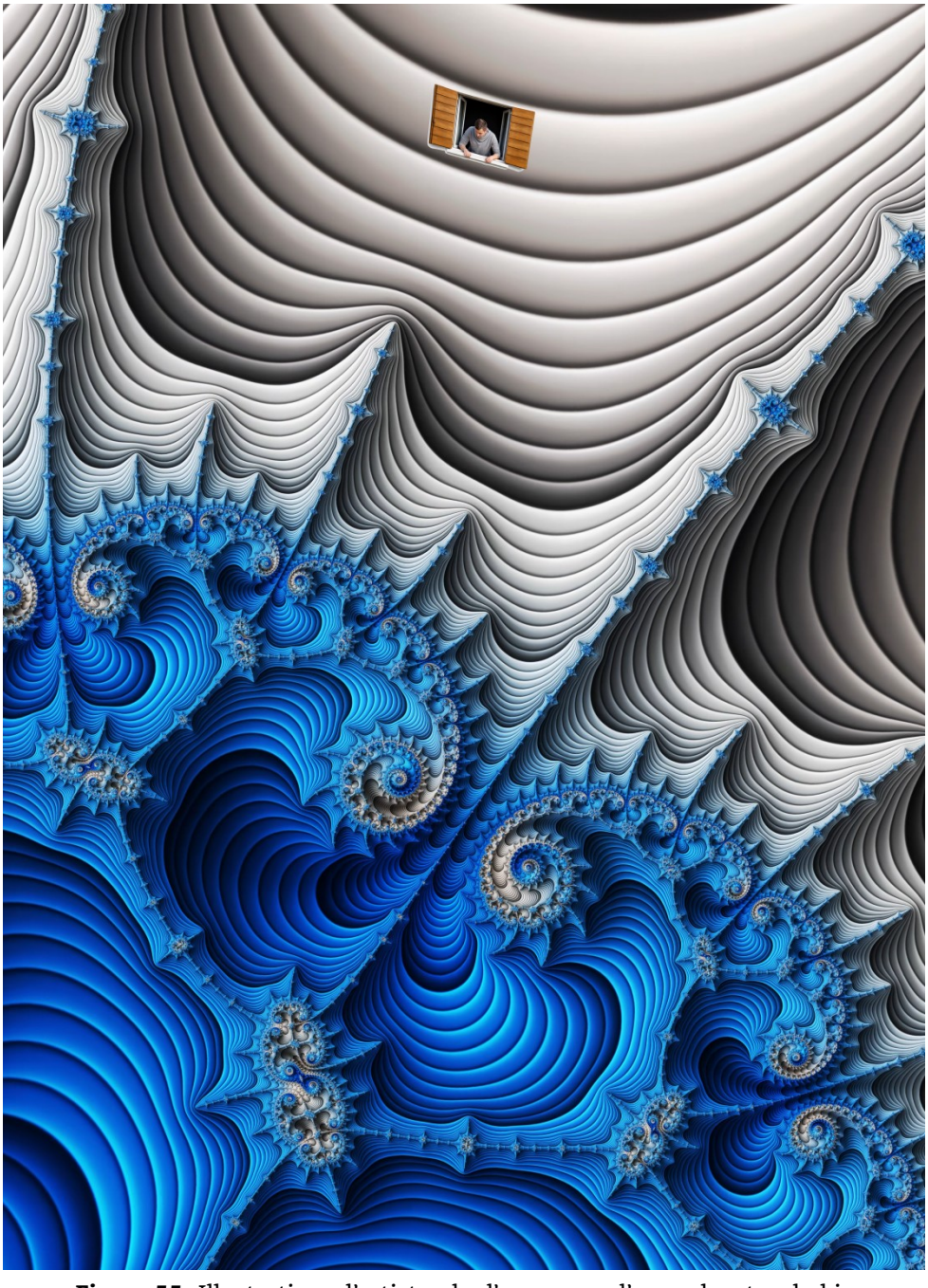

Figure 55 Illustration d'artiste de l'oxymore d'une claustrophobie infinie. Une fenêtre ouverte dans la fractale omniverselle : on y est enfermé, mais elle est infinie.

Nous sommes donc confrontés à une expérience conceptuelle paradoxale : l'enfermement dans un ensemble sans limite. Une claustrophobie infinie. Depuis l'intérieur de cet ensemble, l'humanité poursuit son existence locale. Une espèce biologique apparue sur une petite planète orbitant autour d'une étoile moyenne, dans une galaxie parmi des centaines de milliards, au sein d'un univers parmi d'innombrables autres. Une configuration extrêmement particulière de matière organisée, capable de produire des systèmes nerveux complexes, puis des cerveaux, puis des cultures, puis des cosmologies.

Mais cette apparition ne modifie en rien la structure générale du cosmos.

La conscience humaine ne constitue pas le but de l'omnivers. Elle n'en est pas la finalité. Elle n'en est même pas une composante essentielle. Elle est simplement l'un des effets possibles de certaines configurations de matière dans certaines régions de la fractale.

Un phénomène local.

La cosmologie moderne, associée aux sciences du cerveau et à l'analyse du gradient entropique, montre par ailleurs que l'expérience subjective elle-même repose sur des illusions fonctionnelles. L'écoulement du temps, le sentiment d'identité, l'impression de libre arbitre, émergent de processus physiques déterminés. Dans l'univers-bloc, nos lignes d'univers sont déjà inscrites dans la géométrie de l'espace-temps. Nous glissons le long de ces lignes, convaincus d'avancer, convaincus de choisir, alors que nous parcourons simplement une structure déjà donnée.

Ainsi se referme l'ensemble des illusions anthropiques.

L'humanité n'occupe aucune place privilégiée dans l'espace. Elle n'occupe aucune place privilégiée dans le temps. Elle n'occupe aucune place privilégiée dans la structure globale de la réalité.

Dans la fractale omniverselle, l'humain est hors sens.

Cette conclusion peut sembler rude, mais elle découle logiquement du chemin parcouru. À mesure que les cosmologies humaines ont élargi leur horizon, elles ont progressivement dissous l'idée d'une centralité de l'homme. Chaque révolution cosmologique a déplacé un peu plus notre espèce vers la périphérie conceptuelle du réel.

La fractale omniverselle constitue simplement l'aboutissement de ce mouvement.

Elle ne laisse plus aucune place à un anthropocentrisme résiduel. Elle ne conserve aucune trace d'un univers conçu pour nous accueillir. Elle ne propose aucun récit cosmique où l'humanité représenterait une étape nécessaire ou un accomplissement.

L'humain n'est qu'une fluctuation locale dans l'immense déploiement de la matière et de l'énergie.

Et même cette formulation demeure encore trop généreuse. Car ce que nous appelons « humanité » n'est lui-même qu'un instant extrêmement bref dans l'histoire cosmique. Quelques centaines de milliers d'années à peine dans un univers vieux de plus de 13 milliards d'années. Un phénomène fragile, transitoire, dépendant d'une multitude de conditions physiques et biologiques précises.

Une étincelle.

Dans la fractale omniverselle, d'innombrables étincelles apparaissent peut-être ailleurs, sous d'autres formes, dans d'autres univers, selon d'autres histoires physiques. Mais même si ces étincelles existent, elles ne changent rien à la situation fondamentale.

Le cosmos n'a pas besoin de conscience pour exister.

Et la conscience n'a pas besoin de sens cosmique pour apparaître.

Regarder par la fenêtre de l'omnivers revient donc à regarder un paysage qui ne nous attendait pas. Un paysage qui ne nous reconnaît pas. Un paysage qui ne nous promet rien.

Nous sommes simplement là, à un endroit particulier de la fractale.

Et peut-être est-ce là, paradoxalement, la forme la plus radicale de lucidité cosmique. Non pas découvrir un sens caché derrière l'univers, mais accepter qu'aucun sens ne s'y trouve inscrit pour nous.

La fenêtre est ouverte.

Devant nous, l'infini.

Et dans cet infini, qui ne possède aucun dehors, non seulement l'humain est hors sens, insignifiant, mais il y exhibe son plus formidable néant.

Épilogue

Un livre qui s'est écrit comme un roman, avec les mêmes surprises et les mêmes étonnements au fil de la rédaction. Des idées nouvelles surgissaient, des chapitres apparaissaient, des sections s'ajoutaient, imprévus dans le plan initial, comme si l'ouvrage se découvrait lui-même en se construisant, révélant progressivement ce qui ressemblait à une véritable inspiration.

J'ai été heureux et étonné de découvrir, peu à peu, l'ancienneté de ce livre dans ma propre vie. Un livre où je suis « chez moi », dans ma propre pensée, depuis l'enfance. Depuis ma première rédaction scolaire cosmologique à l'école primaire, certains de mes écrits de jeunesse remontant à 1981[192], j'avais alors 28 ans, et d'autres textes plus tardifs[193] où se mêlent déjà science et philosophie, tous ces écrits préfiguraient l'ouvrage à venir, les premières esquisses de ce qui allait devenir l'« Omnivers ».

Ce livre se rapproche encore davantage du roman si l'on considère qu'il poursuit une quête, avec son héros, l'être humain, vous, moi, nous tous, depuis 300 000 ans d'*Homo sapiens*. L'histoire relatée part à la découverte de l'Univers, le nôtre d'abord, de ses caractéristiques, puis des multivers, et enfin de l'Omnivers, présenté comme l'horizon ultime de cette longue recherche de savoir et de compréhension. La fractale omniverselle apparaît alors comme l'aboutissement de ce parcours. Pourquoi organiser un nombre infini d'univers, répartis dans un nombre infini de multivers, selon une structure fractale ? C'est là la seconde quête, l'intrigue secondaire : découvrir comment deux nécessités, répéter le même et multiplier les possibles, peuvent être réunies. Seule une fractale un peu particulière semble pouvoir satisfaire ces deux exigences. Il reste à la découvrir et à la calculer, ce qui n'est plus de mon ressort.

Les conclusions de l'ouvrage pourront paraître terribles à certains lecteurs, et les conséquences qu'implique un univers serti dans une fractale omniverselle le sont tout autant. Au fil des dizaines d'ouvrages consultés pour préparer Omnivers, tous écrits par d'éminents scientifiques, physiciens, mathématiciens, cosmologues,

---

[192] Loonis, 2021.

[193] Loonis, 2022ab.

apparaît une étrange retenue : tant de résistances à aller jusqu'au bout des raisonnements, tant de refus obstinés d'en tirer les conclusions les plus évidentes. Il n'y a pas de libre arbitre, il n'y a pas de moi, il n'y a pas d'agent. Combien de fois trouve-t-on de très belles descriptions de l'univers einsteinien quadridimensionnel, où tous les événements, présents, passés et futurs, existent de la même façon, sans jamais oser lui donner son véritable nom : l'univers-bloc. Nom presque maudit, trop fort, trop explicite, qui conduit immédiatement à l'abandon du libre arbitre, ce que les auteurs veulent à tout prix éviter. Chez nombre de ces auteurs affleure ainsi une forme de dissociation entre leurs convictions personnelles, qu'ils cherchent à préserver, et les implications des données scientifiques. Cet ouvrage sur la fractale omniverselle ne cherche pas ce compromis : il avance sans concession, retirant tour à tour le moi, la conscience et le libre arbitre de la scène globale, pour les reléguer dans les coulisses des illusions.

Je voudrais m'adresser à présent plus particulièrement aux lecteurs qui pourraient se sentir troublés par tant de renoncements : l'humain détrôné du centre de l'univers, l'humain réduit à néant. Que faire alors ? Que faire de nos vies ? Ma réponse est d'abord que ce néant n'est pas dépourvu d'intérêt, surtout lorsqu'il s'applique à tout. La fractale omniverselle, cette claustrophobie infinie aperçue par la fenêtre de notre vie, ne conduit pas à bouleverser notre existence. Elle invite plutôt à continuer à vivre comme nous le faisons déjà, mais avec davantage de détachement, et peut-être avec la satisfaction d'avoir profondément modifié notre regard sur le cosmos.

Et puis, demeure la question des questions : la question *D*. Et Dieu dans tout cela ? La tentation est grande de reprendre la réponse que Laplace adressa à Napoléon lorsque celui-ci s'étonna de ne jamais voir mentionné le Créateur dans son grand livre sur le système du monde : « Sire, je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse. » Une fois comprise, la fractale omniverselle, à laquelle rien ne peut être ajouté puisqu'elle constitue le tout, chacun est libre de disposer de Dieu comme il l'entend. On peut le placer dedans ou dehors, au-dessus, au-dessous, dans une transcendance (ce qui est sans doute la solution la plus recommandable) ou ailleurs encore. Je ne puis être d'aucune aide dans cette démarche, qui n'est plus la mienne depuis longtemps.

La fractale omniverselle ne prévoit pas la divinité, mais elle ne l'interdit pas non plus.

Depuis le prologue, le lecteur sait que l'auteur n'est pas « fort en équations ». Aussi, il vous faut voir celles-ci (1) comme un peu d'humour, sans moquerie aucune, juste pour resituer les choses et relativiser, rejoignant implicitement les intuitions de certains mystiques ou penseurs :

$$\begin{aligned} & D \cong \infty \\ & \infty \cong 0 \\ & \Rightarrow D \cong 0 \end{aligned} \qquad (1)$$

La fractale omniverselle s'y prend autrement. Nos vies sont si brèves qu'elles ne sont qu'une étincelle dans l'Omnivers. Nous sommes là par hasard, sans motif, sans lieu particulier, sinon ce mince point d'ancrage qu'est notre planète autour de son Soleil, dans sa galaxie. Nous sommes néant et pourtant vivants, conscients. Que nous manque-t-il alors ? Peut-être le courage d'affronter cette vérité de notre néant et d'en faire un défi : celui de nous confronter à cet Omnivers immensément plus vaste que nous et d'en tirer une forme de sagesse fondée sur l'humilité. Comme ultime renoncement, ne plus chercher à saisir sa place dans l'Omnivers.

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord aux dizaines de scientifiques qui ont contribué à ma formation au travers de leurs ouvrages et articles. Leur accompagnement, durant des années, chaque jour, au travers de leurs textes, de leurs concepts et théories, ont constitué la matière première intellectuelle sur laquelle s'est construit cet essai.

Parmi ces scientifiques, je voudrais plus particulièrement remercier Aurélien Barrau, qui m'a ouvert la voie vers la multiplicité des univers. Sean Carroll, pour ses abondantes explications concernant les effets de l'entropie croissante. Jacques Demaret, qui s'est montré très pédagogue dans sa présentation des théories contemporaines en cosmologie et, avec Dominique Lambert, ils m'ont permis de m'interroger sur la centralité de l'humain dans l'univers et d'approfondir tout ce qu'il y a à savoir sur le principe anthropique. Merci encore à Brian Greene, dont tous les livres publiés en français doivent être dans ma bibliothèque, et qui s'est révélé une source inépuisable de connaissances très actuelles sur les arcanes du cosmos, les univers parallèles et la place de l'humain. Merci à Alan Guth, pour son idée géniale d'inflation. Merci à deux mains à Sabine Hossenfelder, qui mène ses travaux de recherche à l'Institut des Études Avancées de Francfort, pour son livre décapant et révélateur des égarements de la physique moderne, aveuglée par la beauté de ses équations. Merci encore à Marc Lachièze-Rey, avec lequel j'ai tant appris sur le temps et à Thibault Lepeltier, qui remet carrément l'existence de l'univers en question, une saine interrogation. Mes remerciements à Jean-Pierre Luminet qui, avec Lachièze-Rey, m'ont mis le pied à l'étrier sur les questions d'infini et de multivers. Je n'oublie pas non plus Robert Sapolsky, dont j'ai eu le grand honneur de traduire deux de ses ouvrages et que je remercie chaleureusement pour ses idées et démonstrations démystificatrices des

comportements humains et de leur déterminisme. Enfin, un profond merci à Max Tegmark, auteur phare sur la question des multivers, et dont la rencontre fondatrice fut pour moi particulièrement inspirante.

Leurs livres, chacun à leur manière, explorent les grandes questions de la cosmologie contemporaine et restent des incontournables pour en avoir une certaine expertise. Le lecteur trouvera leurs références complètes dans la bibliographie. Sans leurs travaux, leur rigueur scientifique et leur capacité remarquable à rendre accessibles les idées les plus vertigineuses de la physique moderne, ce livre n'aurait tout simplement pas pu être écrit. Ils ont été pour moi, comme pour tant d'autres lecteurs, des guides dans l'exploration de ce cosmos dont nous tentons, modestement, de comprendre la structure et le sens.

Je voudrais également exprimer ma gratitude et mes hommages envers plusieurs auteurs aujourd'hui disparus, dont les livres ont profondément nourri ma réflexion. À Auguste Blanqui et à David Lewis, pour m'avoir éclairé sur ce qui me paraît constituer les deux fondements générateurs de l'univers. Le premier, tout en étant emprisonné, esquisse dès le 19e siècle, l'idée vertigineuse d'une répétition cosmique du même pour emplir un univers infini. Le second, contemporain, avec sa théorie de la pluralité des mondes, ouvre une perspective philosophique radicale, la modalité, où tous les possibles trouvent quelque part leur réalisation. Ces deux intuitions, venues d'horizons intellectuels très différents, ont contribué à structurer la réflexion qui traverse ce livre.

Je dois également beaucoup à René Descartes. Car le *Discours de la méthode* fut le premier texte philosophique que je découvris à quatorze ans, au collège. Je me souviens encore de la scène : la bibliothécaire me voyant farfouiller dans l'armoire réservée aux élèves de terminale, avec son expression renfrognée, devant cette curiosité qu'elle jugeait prématurée, « Mais vous êtes en quelle classe ?! »

Cette lecture, pourtant difficile, fut pour moi une véritable porte d'entrée dans la pensée philosophique.

Un immense merci à Albert Einstein, ainsi qu'à Leopold Infeld, dont les ouvrages sur la relativité et sur l'évolution des idées en physique ont joué un rôle décisif. Leur manière de présenter les concepts les plus profonds de la physique moderne, avec une clarté pédagogique remarquable, a contribué à rendre accessible ce changement de vision du monde qu'introduit la relativité.

Je voudrais enfin évoquer Chögyam Trungpa, lama tibétain exilé aux États-Unis à la suite de l'invasion et des persécutions chinoises, lui aussi aujourd'hui disparu. La lecture de *Pratique de la voie tibétaine*, à l'âge de vingt-deux ans, fut pour moi un véritable tournant existentiel. Ce livre, que j'ai relu à l'époque, sûrement plus de vingt fois, a profondément marqué ma compréhension de la réalité et des illusions qui la cachent. Il reste encore pour moi une référence centrale en métaphysique.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Le cercle de vie tracé sur le sol est relié chez les amérindiens à une conception cyclique de l'univers, le *Wakhan Tanka*..... 11

Figure 2 En Colombie, des amérindiens du sud se livrent à un rituel mettant en jeu *Aluna*, la Grande Mère qui a pensé le monde avant même sa création. 14

Figure 3 En Polynésie et Micronésie, le milieu essentiellement océanique a favorisé les rituels et conceptions du monde reliant l'océan et le ciel avec la carte à bâtonnets. 19

Figure 4 Dans l'*Apeiron* d'Anaximandre, apparaît un principe cosmologique abstrait, expliquant l'émergence des êtres comme processus nécessaire. 34

Figure 5. Le Timée de Platon dans une version traduite en latin. Platon y présente une cosmologie bien structurée, géocentrique, qui influencera les cosmologies antiques, médiévales et jusqu'à la Renaissance..... 39

Figure 6 Pour Ptolémée le géocentrisme est mathématisé. Le cosmos est conçu comme un système clos de sphères emboîtées, centré sur une Terre immobile, autour de laquelle s'ordonnent les mouvements des astres selon une géométrie complexe. 48

Figure 7 Avec Copernic, le monde est héliocentrique, les planètes tournant toutes autour du Soleil, les étoiles étant reléguées dans un au-delà indéfini. 54

Figure 8 Tycho Brahe concevait ce ciel hydride étrange d'une Terre centrale et d'un Soleil central, lui aussi, mais pour les autres planètes. Ironiquement, Kepler qui travailla (difficilement) avec Brahe, tira de ses données une cosmologie moderne au-delà des dogmes antiques. 55

Figure 9 Pour Kepler les planètes décrivent des orbites elliptiques autour du Soleil. La cosmologie képlérienne est à la fois mécaniste et téléologique, mathématique et spirituelle. 58

Figure 10 Pour Galilée cette lueur laiteuse dans la nuit est comprise comme une accumulation d'étoiles innombrables : la Voie lactée. .. 71

Figure 11 Un amas globulaire est un regroupement d'étoiles très

dense, contenant typiquement une centaine de milliers d'astres. Ici, l'amas globulaire M80. 74

Figure 12 Non encore reconnues comme des galaxies, les nébuleuses spirales le deviendront dès 1920 avec les observations et calculs d'Edwin Hubble. 77

Figure 13 Les comètes, aux trajectoire si mystérieusement irrégulières, ont longtemps été, pour les hommes, sources de présages, bénéfiques ou maléfiques. 80

Figure 14 Le télescope Hooker qui permit à Edwin Hubble de comprendre les nébuleuses comme galaxies et de les éloigner considérablement de la Voie lactée. 88

Figure 15 Les différents types de galaxies, selon la séquence de Hubble : le type E correspond à une galaxie elliptique, le S à une galaxie spirale et le SB à une galaxie spirale barrée. 92

Figure 16 Galilée montrant au Doge de Venise sa lunette astronomique. En plein jour et lunette horizontale, on se demande ce que ces messieurs pouvaient bien observer… 100

Figure 17 Vue interne du Télescope Géant Européen (EELT – *European Extremely Large Telescope*). 102

Figure 18 Vue sur site du Télescope Géant Européen (EELT), construit au Cerro Armazones. 103

Figure 19 Le télescope spatial Hubble, premier à marquer profondément la science et l'imaginaire collectif, prolonge, près de 70 ans plus tard, le regard inauguré par Edwin Hubble sur l'immensité cosmique. 107

Figure 20 Le *James Webb Space Telescope* (JWST), déployé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, capte la lumière infrarouge des premières structures cosmiques et ouvre une fenêtre sur les débuts de l'Univers. 109

Figure 21 Vue d'artiste de la Voie lactée et de galaxies lointaines : en projection (en haut), l'ensemble semble appartenir à un même plan, tandis qu'un changement de perspective (en bas) révèle la profondeur réelle et la dispersion des galaxies dans l'espace. 112

Figure 22 Représentation des deux apparences extrêmes d'une céphéide (une étoile variable, géante ou supergéante), montrant les changements de luminosité et de température. 115

Figure 23 Carte complète du fond diffus cosmologique (en réalité, ce

fond nous enveloppe comme une sphère), reconstitué à partir de clichés pris par le satellite spatial WMAP..... 118

Figure 24 Modèle sphérique d'un espace fermé à courbure positive. 128

Figure 25 Modèle plat d'un espace à courbure nulle. 130

Figure 26 Modèle hyperbolique d'un espace ouvert à courbure négative. 131

Figure 27 La théorie du *Big Bang* pose que l'Univers actuel a émergé d'un état extrêmement dense et chaud il y a un peu plus de 13,5 milliards d'années, suivi d'une expansion. 137

Figure 28 La fameuse image du satellite spatial Hubble contenant approximativement 10 000 galaxies d'âges, de tailles, de formes et de couleurs variés. 144

Figure 29 La théorie de la relativité remplace la force de gravitation de Newton par une courbure de l'espace-temps, le long de laquelle les corps suivent des géodésiques dans leur mouvement. 152

Figure 30 Représentation de l'univers-bloc dans sa version orchestrale en forme de cornet de trompette, qui permet de situer les différentes étapes de son développement depuis le *Big Bang*. 155

Figure 31 Représentation de l'univers-bloc dans sa version boulangère en forme de miche de pain, qui permet de visualiser les effets du découpage orienté selon les mouvements d'un corps par rapport à un autre : vers le passé (A-D, vers la gauche), lorsque les corps s'éloignent ou vers le futur (C-F, vers la droite), lorsqu'ils se rapprochent. Ce qui explique que les temps propres des corps sont différents. La position centrale (B-E), qui correspond à une absence de mouvement relatif des corps, donc à une simultanéité des temps, est purement théorique, car dans l'univers, tout est toujours en mouvement..... 156

Figure 32 Schéma représentant l'univers-bloc comme un tube déformé par les étapes de son évolution géométrique, entre deux singularités, depuis le *Big Bang*, les différents régimes d'expansion, inflation et contraction, jusqu'à un *Big Crunch*. C'est une version orchestrale dont on ne représente que le volume. 166

Figure 33 Image d'artiste et fantaisiste des lignes d'univers, qui traversent l'écran de la droite (le passé) vers la gauche (le futur) et qu'une coquine démone s'amuse à agiter, indifférente aux effets qu'elle induit dans les phénomènes. 169

Figure 34 Représentation d'artiste du multivers mathématique de type 1. Chaque tube symbolise la génération d'un multivers selon une structure mathématique particulière. Quant à savoir d'où vient le multivers mathématique, le lecteur est prié de se référer à la question leibnizienne : pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?..... 180

Figure 35 Représentation d'artiste du multivers inflationnaire de type 2. L'inflation d'énergie se déploie aléatoirement, exponentiellement et à l'infini (bulles rouges). Elle peut cesser ici ou là, formant alors un des univers *Big Bang* pouvant accueillir biologie et conscience sur une planète. Nous sommes dans l'un de ces univers. 184

Figure 36 Représentation d'artiste d'une partie du multivers spatial de type 3. Ici est représenté l'une des « régions » en nombre infini de ce multivers spatial. Spatial signifie que les régions appartiennent à l'espace d'un même univers *Big Bang* issu de l'inflation cosmique. 187

Figure 37 Représentation d'artiste du multivers spatial de type 3. Dans un univers *Big Bang* infini, existe une infinité de « régions », qui correspondent chacune à un univers observable (l'horizon cosmologique). Une copie identique du lecteur se trouve certainement dans une autre région, à une distance de l'ordre de $10^{10^{29}}$ mètres. 189

Figure 38 Représentation d'artiste du multivers modal de type 4. Nos deux célèbres jeunes femmes sont à la racine de deux embranchements du multivers everettien, symbolisés par les rétroviseurs. Elles ont le choix entre : la police les poursuit et elles se jettent dans le Grand Canyon ; elles font demi-tour, pour se rendre aux autorités, laissant le précipice derrière elles. 192

Figure 39 Libre représentation d'artiste de l'emboitement des quatre multivers dans un contexte, à l'évidence, de culte maya. 195

Figure 40 Le concept de dimensions en géométrie classique est simple à comprendre et correspond à notre expérience quotidienne. 203

Figure 41 L'ensemble de Cantor, pour D = 0,630929753..... 204

Figure 42 La courbe de Koch, pour D = 1,261859507. 205

Figure 43 Le triangle de Sierpiński, pour D = 1,584962501..... 205

Figure 44 L'éponge de Menger, pour D = 2,726833028..... 205

Figure 45 À gauche, un multivers quantique modal de type 4, everettien, contenant la multiplicité des versions coexistantes d'un même monde, nécessaire aux hypothèses quantiques. À droite, un multivers spatial de type 3, contenant une infinité de « régions » (volumes de Hubble ou univers observables), résultant de l'extension spatiale d'un même univers post-inflationnaire et impliquant la répétition statistique des configurations matérielles..... 213

Figure 46 À gauche, un multivers inflationnaire global de type 2, contenant la multiplicité des multivers spatiaux, nécessaire aux hypothèses d'inflation chaotique globale éternelle. À droite, un multivers mathématique de type 1, incluant l'infinité des univers inflationnaires et nécessaire à la conjecture des univers contigus (voir plus loin). 214

Figure 47 Représentation d'un omnivers fractal infini (ou fractale omniverselle), composé de l'ensemble des structures du multivers mathématique. 215

Figure 48 Une copie d'écran de la fractale vidéo « Sapphires ». 217

Figure 49 Compositions de l'univers en éléments fondamentaux, dont les hypothétiques matière noire et énergie sombre, à 380 000 ans après le *Big Bang* et aujourd'hui. 220

Figure 50 Schéma illustrant la conjecture des univers inflationnaires contigus. Sur la gauche, les liens hypothétiques entre des univers en contraction et un univers en expansion, par effet géométrique ; à droite, l'influence gravitationnelle d'un univers sur un autre, par nucléation (effet « matière noire »), comme première étape vers la matière-énergie-gravitation. 221

Figure 51 Comment envisager la frontière entre deux univers contigus ? Peut-être tout simplement avec de l'humour ? Soudain, un panneau de signalisation, au fin fond d'un univers profond de Hubble. Un escalier à la Maurits Cornelis Escher symbolisant parfaitement la relativité de cette frontière invisible. Alors, attention à la marche ! 222

Figure 52 À gauche, le physicien Erwin Schrödinger (1887-1961) et à droite, le physicien Max Planck (1858-1947), qui ont tous deux fondamentalement contribué à la mécanique quantique..... 237

Figure 53 Illustration d'artiste du Bouddha Siddhārtha Gautama en méditation..... 251

Figure 54 Ce bol n'existe pas, en soi, comme entité indépendante. Il

n’est qu’une construction mentale à base de concepts, noms, fonctions, significations… 276

Figure 55 Illustration d’artiste de l’oxymore d’une claustrophobie infinie. Une fenêtre ouverte dans la fractale omniverselle : on y est enfermé, mais elle est infinie. 295

Crédit des illustrations

Figure 1 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 2 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 3 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 4 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 5 : Calcidius, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 6 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 7 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 8 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 9 : Auteur inconnu, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 10 : Benh Lieu Song, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié par IA.

Figure 11 : NASA, Domaine public, Éric Loonis, modifié par IA.

Figure 12 : Galaxie spirale NGC 4414, NASA, Domaine public.

Figure 13 : Comète Hale-Bopp, Philipp Salzgeber, Wikimedia Commons.

Figure 14 : Andrew Dunn, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié par IA.

Figure 15 : Cosmogoblin, Wikimedia Commons.

Figure 16 : D'après une fresque de Giuseppe Bertini, Gabriele Vanin, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié par IA.

Figure 17 : ESO, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 18 : Swinburne Astronomy Productions/ESO, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 19 : Ruffnax (Crew of STS-125), Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 20 : NASA, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 21 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 22 : Merikanto, Wikimedia Commons, Éric Loonis pour le montage.

Figure 23 : NASA/WMAP Science Team, Wikimedia Commons.

Figure 24 : NASA/WMAP Science Team, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 25 : NASA/WMAP Science Team, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 26 : NASA/WMAP Science Team, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 27 : Waterced, Wikimedia Commons.

Figure 28 : NASA, ESA, modifié par Noodle snacks, Wikimedia Commons.

Figure 29 : Johnstone, Wikimedia Commons, Éric Loonis, modifié avec IA.

Figure 30 : NASA/WMAP Science Team, Éric Loonis pour la traduction des légendes.

Figure 31 : Photographie Éric Loonis, modifiée avec IA.

Figure 32 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 33 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 34 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 35 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 36 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 37 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 38 : Inspiré du film *Thelma & Louise* de Ridley Scott, Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 39 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 40 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 41 : Éric Loonis, d'après Wikimedia Commons, recréé.

Figure 42 : Éric Loonis, d'après Wikimedia Commons, recréé.

Figure 43 : Éric Loonis, d'après Wikimedia Commons, recréé.

Figure 44 : Éric Loonis, d'après Wikimedia Commons, recréé.

Figure 45 : Éric Loonis, création originale.

Figure 46 : Éric Loonis, création originale.

Figure 47 : Éric Loonis, création originale.

Figure 48 : Olbaid ST, Maths Town, YouTube.

Figure 49 : NASA/WMAP Science Team, Wikimedia Commons, Éric Loonis, adapté

Figure 50 : Éric Loonis, création originale.

Figure 51 : Éric Loonis, création originale.

Figure 52 : À gauche Nobel foundation et à droite auteur inconnu, Wikimedia Commons.

Figure 53 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 54 : Éric Loonis, généré avec IA.

Figure 55 : Olbaid ST, Maths Town, YouTube, Éric Loonis, ajout du personnage à la fenêtre généré avec IA.

Bibliographie

Une partie des entrées de cette bibliographie sont référencées dans le texte. D'autres sont orphelines, sans référence, mais leur présence indique une possible lecture complémentaire qui peut enrichir le point de vue du lecteur.

Avalokiteśvara (2001). *Le Soûtra du Diamant : et autres soûtras de la Voie médiane*. Librairie Arthème Fayard.

Barbour, J. (1999). *The end of time. The next revolution in physics*. Oxford University Press.

Barbour, J. B. (2001). The End of Time. Oxford University Press.

Barrau, A. (2014). *Des univers multiples. Nouveaux horizons cosmiques*. Dunod.

Barrau, A., Gyger, P., Kistler, M., Uzan, J.-P. (2010). *Les multivers. Mondes possibles de l'astrophysique, de la philosophie et de l'imaginaire*. Éditions Flammarion.

Barrow, J. D., & Tipler, F. J. (1975). *L'Homme et le cosmos*. Paris-Match.

Barrow, J. D. (2008). *Une brève histoire de l'infini*. Éditions Robert Laffont.

Bassler, U. (sous la direction) (2022). *Étonnants infinis*. CNRS Éditions.

Bessel, F. W. (1838). Bestimmung der Entfernung des 61sten Sterns des Schwans. *Astronomische Nachrichten*, vol. 16, n° 365, 65-96.

Bianchi, L. (1897). Sugli spazi a tre dimensioni che ammettono un gruppo continuo di movimenti. *Memorie della Societa Italiana delle Scienze (detta dei XL)*, Serie 3ª, Tomo XI.

Blanqui, A. (2012). *L'éternité par les astres*. Les Impressions Nouvelles.

Bitbol, M. (1998). *L'aveuglante proximité du réel. Anti-réalisme et quasi-réalisme en physique*. Flammarion.

Bitbol, M. (2010). *De l'intérieur du monde. Pour une philosophie et une science des relations*. Éditions Flammarion.

Bitbol, M. (2014). *La conscience a-t-elle une origine ? Des neurosciences à la pleine conscience : une nouvelle approche de l'esprit*. Éditions Flammarion.

Blanqui, A. (2012). *L'éternité par les astres*. Les Impressions Nouvelles.

Blay, M. (2013). *Les raisons de l'infini*. Éditions Gallimard.

Bolte Taylor, J. (2008). *Voyage au-delà de mon cerveau*. Éditions JC Lattès.

Bolzano, B. (1993). *Les paradoxes de l'infini*. Éditions du Seuil.

Bricmont, J., Zwirn, H. (2009). *Philosophie de la mécanique quantique.* Vuibert.

Bitbol, M. (2010). *De l'intérieur du monde. Pour une philosophie et une science des relations*. Éditions Flammarion.

Bitbol, M. (2014). *La conscience a-t-elle une origine ? Des neurosciences à la pleine conscience : une nouvelle approche de l'esprit*. Éditions Flammarion.

Bondi, H., Gold, T. (1948). The Steady-State Theory of the Expanding Universe, Monthly. *Notices of the Royal Astronomical Society*, 108, 252-70.

Bruno, G. (1995). *De l'infini de l'univers et des mondes*. Dans Œuvres complètes, volume 4. Éditions Belles Lettres.

Carroll, S. (2018). *Le grand tout. Sur l'origine de la vie, son sens et l'univers lui-même.* Presses polytechniques et universitaires romandes.

Carroll, S. (2022a). *La face cachée de l'univers. Les mondes quantiques et l'émergence de l'espace-temps*. Éditions Quanto.

Carroll, S. (2022b). *L'univers et la flèche du temps*. Éditions Quanto.

Carroll, S. (2024). *L'univers à votre portée. Champs quantiques*. Éditions Quanto.

Caruso, G. Dennett, D. (2018). *Just Deserts*. Aeon (bit.ly/3VHgpfK).

Chaline, J., Nottale, L., Grou, P. (2009). *Des fleurs pour Schrödinger, la relativité d'échelle et ses applications*. Edition Ellipses.

Chalmers, D. J. (1995). Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 2(3), 200-19.

Chalmers, D. J. (2010). *L'esprit conscient : À la recherche d'une théorie fondamentale*. Éditions d'Ithaque.

Cohen-Tannoudji, G., Spiro, M. (1986). *La matière-espace-temps. La logique des particules élémentaires*. Librairie Arthème Fayard.

Clegg, B. (2018). *La bible de la physique quantique*. Guy Trédaniel Éditeur.

Collectif (1992). *L'homme face à la science.* Criterion.

Davies, P. C. W. (1982). *The Accidental Universe*. Cambridge University Press.

Dawa-Samdup, K. (1964). *Le yoga tibétain et les doctrines secrètes ou les Sept livres de la sagesse du grand sentier*. Walter Y. Evans-Wentz (ed), Éditions Adrien Maisonneuve, Librairie d'Amérique et d'Orient.

Demaret, J. (1991). *Univers, les théories de la cosmologie contemporaine*. Éditions Le Mail.

Demaret, J., Lambert, D. S. (1994). *Le principe anthropique. L'homme est-il le centre de l'univers ?* Armand Colin Éditions.

Dennett, D. C. (1993). *La conscience expliquée*. Éditions Odile Jacob.

Dennett, D. C. (2012). *De beaux rêves. Obstacles philosophiques à une science de la conscience*. Éditions Folio.

Denton, M. (1997). *L'évolution a-t-elle un sens ?* Librairie Arthème Fayard.

Descartes, R. (1984). *Discours de la méthode*. Vrin, Bibliothèque des Textes Philosophiques.

Deutsch, D. (1997). *The Fabric of Reality*. Allen Lane.

Deutsch, D. (2016). *Le commencement de l'infini*. Éditions Cassini.

Dicke, R. H., Peebles, P. J. E., Roll, P. G., Wilkinson, D. T. (1965). Cosmic Black-Body Radiation. *Astrophysical Journal*, 142, 414-19.

Drake, F. D. (1961). Project Ozma. *Physics Today*, vol. 14(4), 40-46.

Eccles, J. C. (1997). *Comment la conscience contrôle le cerveau*. Librairie Arthème Fayard.

Egan, G. (1996). *La cité des permutants*. Robert Laffont.

Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 891-921.

Einstein, A. (1915). Die Feldgleichungen der Gravitation. *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften* (Berlin), 844-47.

Einstein, A. (1963). *La relativité.* Éditions Payot.

Einstein, A., Infeld, L. (1983). *L'évolution des idées en physique. Des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*. Flammarion.

Einsenstaedt, J. (1963). *Einstein et la relativité générale. Les chemins de l'espace-temps*. CNRS Éditions « Biblis ».

Ellis, G. F. R., MacCallum, M. A. H. (1969). A class of homogeneous cosmological models. *Communications in Mathematical Physics*, 12, 108-41.

Garriga, J., Vilenkin, A. (2001a). Eternal inflation. *Physical Review D*.

Garriga, J., Vilenkin, A. (2001b). Many worlds in one. *Physical Review D*, 64, 023507.

Garriga, J., & Vilenkin, A. (2001c). A prescription for probabilities in eternal inflation. *Physical Review D*, 64, 043511.

Gödel, K. (1949). An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation. *Reviews of Modern Physics*, 21, 447-50.

Goff, P. (2019). *Galileo's Error: Foundations for a New Science of Consciousness*. Pantheon.

Gomes, G. (1998). The Timing of Conscious Experience: A Critical Review and Reinterpretation of Libet's Research. *Consciousness and Cognition*, 7, 559.

Greene, B. (1999). *L'univers élégant*. Éditions Gallimard.

Greene, B. (2004). *La magie du cosmos. L'espace, le temps, la réalité : tout est à repenser*. Éditions Robert Laffont (vidéo dans Multimed-11).

Greene, B. (2011). *La réalité cachée. Les univers parallèles et les lois du cosmos*. Éditions Flammarion.

Greene, B. (2021). *Jusqu'à la fin des temps. Notre destin dans l'univers*. Éditions Flammarion.

Grünbaum, A. (1950-51). Relativity and the atomicity of becoming. *Review of Metaphysics*, p. 143-86.

Grünbaum, A. (1973). *Philosophical Problems of Space and Time*. Reidel.

Guth, A. H. (1981). Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Physical Review D*, 23, 347-56.

Guth, A. H., Steinhardt, P. J. (1984). The inflationary universe. *Scientific American*.

Guth, A. H. (1997). *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Hameroff, S. Penrose, R. (2014). Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory. *Physics of Life Reviews*, 11, 39-78.

Hawking, S. (1989). *Une brève histoire du temps. Du Big Bang aux trous noirs.* Éditions Flammarion.

Hawking, S. W. (1992). Chronology Protection Conjecture. *Physical Review D*, 46, 603-11.

Hobbes, T. (1655). *De Corpore*.

Hoffmann, B., Paty, M. (1967). *L'étrange histoire des quanta.* Éditions Le Seuil.

Hossenfelder, S. (2019). *Lost in Maths.* Éditions Les Belles Lettres.

Horwich, P. (1987). *Asymmetries in Time*. MIT Press.

Hoyle, F., A (1948). New Model for the Expanding Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108, 372-82.

Hürter, T., Rauner, M. (2012). *Les univers parallèles. Du géocentrisme au multivers*. CNRS Éditions.

James, W. (1909). *A Pluralistic Universe*. Longmans, Green, and co.

Kasting, J. F., Whitmire, D. P., Reynolds, R. T. (1993). Habitable Zones around Main Sequence Stars. *Icarus*, 101, 108-28.

Koyré, A. (1988). *Du monde clos à l'univers infini*. Éditions Gallimard.

Kripke, S. (1982). *La logique des noms propres*. Les Éditions de Minuit.

Lachièze-Rey, M. (2008). *Au-delà de l'espace et du temps. La nouvelle physique*. Éditions Le Pommier.

Lachièze-Rey, M. (2013). *Voyager dans le temps. La physique moderne et la temporalité*. Éditions du Seuil.

Lachièze-Rey, M. (2019). *Les avatars du vide*. Le Pommier.

Lachièze-Rey, M. (2020). *Initiation à la cosmologie*. Éditions Dunod.

Laplace, P. S. (2020). *Essai philosophique sur les probabilités*. Hachette Livre BNF.

Le Bihan, B. (2019). *Qu'est-ce que le temps ?* Librairie Philosophique J. Vrin.

Le Bihan, S. (sous la direction) (2013). *Précis de philosophie de la physique*. Vuibert.

Lemaître, G. (1931). The beginning of the world from the point of view of quantum theory. *Nature*, 127, 706.

Lemaître, G. (1933). L'Univers en expansion. *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, A53, 51-85.

Lepeltier, T. (2021). *L'univers existe-t-il ?* Presses Universitaires de France.

Lewis, D. (2007). *De la pluralité des mondes*. Éditions de l'éclat.

Lewis, D. (2015). Survie et identité. In Lewis, D., Parfit, D., Swinburne, R. *Identité et survie*, Ithaque, Philosophie, p. 57-86.

Linde, A. D. (1983). Chaotic Inflation. *Physics Letters B*, 129(3-4), 177-81.

Linde, A. D. (1990). *Particle physics and inflationary cosmology*. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers.

Linde, A. (1994). The inflationary universe. *Scientific American*.

Livio, M. (2016). *Dieu est-il mathématicien ?* Éditions Odile Jacob.

Loonis, E. (2021). *Le sentier de bodhi : Écrit de jeunesse.* Kindle Direct Publishing.

Loonis, E. (2022a). *Saut d'univers : Bouddhisme et science pour changer d'univers.* Kindle Direct Publishing.

Loonis, E. (2022b). *Le lama écarlate : Religion et méditation.* Kindle Direct Publishing.

Luminet, J-P. (2001). *L'univers chiffonné*. Éditions Fayard.

Luminet, J-P. (2020). *L'écume de l'espace-temps*. Éditions Odile Jacob.

Luminet, J.-P., Lachièze-Rey, M. (2019). *De l'infini. Horizons cosmiques, multivers et vide quantique*. Dunod.

Luminet, J.-P., Lachièze-Rey, M. (2005). *De l'infini… Mystères et limites de l'univers*. Dunod.

Mach, E. (2022). *L'analyse des sensations. Le rapport du physique au psychique*. Autoédition KDP, Éric Loonis.

Mandelbrot, B. (1989). *Les objets fractals*. Flammarion, Nouvelle Bibliothèque Scientifique.

McTaggart, J. E. (1908). The Unreality of Time. *A Quaterly Review of Psychology and Philosophy*, 17, p. 456-73.

McTaggart, J. E. (1908). The Unreality of Time. *Mind*, 17, 457-74.

Markosian, N. (2004). A Defense of Presentism. *Oxford Studies in Metaphysics*, 1, 47-82.

Minkowski, H. (1908). Raum und Zeit. *Physikalische Zeitschrift*, 10, 104-11.

Minsky, M. (1988). *La société de l'esprit*. InterÉditions.

Nāgārjuna (2002). *Stances du milieu par excellence*. Traduction et annotations de Guy Bugault. Éditions Gallimard.

Nottale, L. (1998). *La relativité dans tous ses états. Au-delà de l'espace-temps*. Hachette Littératures.

Ngô, C. (2019). *Énergie, entropie, information, cryptographie et cybersécurité*. Éditions EDP SCIENCES.

Novikov, I. D. (1989). *Evolution of the Universe*. Cambridge University Press.

Ortoli, S., Pharabod, J.-P. (1984). *Le cantique des quantiques. Le monde existe-t-il ?* Éditions La Découverte.

Parménide (début du 5e siècle av. J.-C.). *De la nature*, fragments (notamment fr. 8).

Penrose, R. (1992). *L'esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*. InterÉditions.

Penrose, R. (1995). *Les ombres de l'esprit*. Seuil.

Penrose, R. (2007). *À la découverte des lois de l'univers : la prodigieuse histoire des mathématiques et de la physique*. Éditions Odile Jacob.

Penzias, A. A., Wilson, R. W., A (1965). Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysical Journal*, 142, 419-21.

Petitmengin, C. (2007). *Le chemin du milieu. Introduction à la vacuité dans la pensée bouddhiste indienne*. Éditions Dervy.

Planck Collaboration (2020). Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A1.

Prior, A. N. (1967). *Past, Present and Future*. Oxford University Press.

Prigogine, I., Stengers, I. (2009). *Entre le temps et l'éternité*. Flammarion.

Quine, W. V. O. (1960). *Word and Object*. MIT Press.

Rees, M. J. (2002). *Our Cosmic Habitat*. Princeton University Press.

Reeves, H. (2002). *Chronique des atomes et des galaxies*. Éditions du Seuil.

Reeves, H. (2016). *Les secrets de l'univers*. Éditions Robert Laffont.

Rovelli, C. (2006). *Qu'est-ce que le temps ? Qu'est-ce que l'espace ?* Bernard Gilson Éditeur.

Rovelli, C. (2017). *L'ordre du temps*. Éditions Flammarion.

Russell, B. (1915). On the Experience of Time. *Monist*, 25, 212-33.

Russell, B. (2002). *La méthode scientifique en philosophie, notre connaissance du monde extérieur (1915)*. Paris, Payot.

Sapolsky, R. M. (2025). *Déterminisme : une science de la vie sans libre arbitre*. Traduction de l'anglais américain par Éric Loonis. Éditions Arpa.

Sapolsky, R. M. (2026). *Comportement : la biologie humaine pour le pire et le meilleur*. Traduction de l'anglais américain par Éric Loonis. À paraître aux Éditions Arpa.

Sengzhao (2004). *Introduction aux pratiques de la non-dualité*. Librairie Arthème Fayard.

Schacter, D. L., Addis, D. R., Buckner, R. L. (2007). Remembering the past to imagine the future: the prospective brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 657-61.

Scot, J. (vers 1290-1300). *Ordinatio*, I, dist. 39.

Shikshânanda (2006). *Soûtra de l'entrée à Lanka*. Librairie Arthème Fayard.

Smart, J. J. C. (1949). The River of Time. *Mind*, 58, 483-94.

Smolin, L. (2007). *Rien ne va plus en physique ! L'échec de la théorie des cordes*. Dunod.

Stapp, H. P. (2016). *Le monde quantique et la conscience. Sommes-nous des robots ou les acteurs de notre propre vie ?* Éditions Dervy.

Staune, J. (2007). *Notre existence a-t-elle un sens ? Une enquête scientifique et philosophique*. Presses de la Renaissance.

Straus, E. G. (1979). Einstein's Miraculous Year: Five Papers That Changed the Face of Physics. In A. P. French (dir.), *Einstein: A Centenary Volume*. Harvard University Press.

Strawson, G. (2006). Realistic monism: why physicalism entails panpsychism. In *Mind That Abides*, ed. D. Skrbina, Amsterdam: John Benjamins, pp. 33-57.

Susskind, L. (2007). *Le paysage cosmique. Notre univers en cacherait-il des millions d'autres ?* Éditions Robert Laffont.

Suzuki, D. T. (1932). *The Lankavatara Sutra. An epitomized version*. Provenance Éditions.

Tegmark, M. (2003). Parallel Universes. *Scientific American*, 288(5), 40-51.

Tegmark, M. (2004). Parallel universes. In J. D. Barrow, P. C. W. Davies, & C. L. Harper (Eds.), *Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos*. Cambridge University Press.

Tegmark, M. (2014). *Notre univers mathématique. En quête de la nature ultime du réel*. Dunod.

Tegmark, M. (2015). Consciousness as a State of Matter. In *Chaos, Solitons & Fractals*, March 17, 76, pp. 238-270.

Tegmark, M., Wheeler, J. A. (2001). 100 years of quantum mysteries. *Scientific American*.

Thorne, K. S. (1997). *Trous noirs et distorsion du temps. L'héritage sulfureux d'Einstein*. Flammarion.

Tononi, G. (2008). Consciousness as Integrated Information. *Biological Bulletin*, 215(3), 216-42.

Tononi, G. (2012). *Phi: A Voyage from the Brain to the Soul*. Pantheon.

Trinh, K. (2012). *La science du dharma, la métaphysique de Nâgârjuna, la méditation bouddhiste (Yogâcâra)*. Éditions Édilivre.

Trungpa, C. (1972). *Méditation et action*. Librairie Arthème Fayard.

Trungpa, C. (1976). *Pratique de la voie tibétaine. Au-delà du matérialisme spirituel.* Éditions du Seuil.

Trungpa, C. (1979). *Le mythe de la liberté*. Éditions du Seuil.

Uzan, J.-P. (2018). *Big Bang. Comprendre l'univers depuis ici et maintenant*. Éditions Flammarion.

Vegro, D. (2016). *Anti-dictionnaire de physique*. Éditions Belin.

Vilenkin, A. (1982). Fractal structure of the inflationary universe. *Physics Letters B*, 117, 25-28.

Vilenkin, A. (1983a). Eternal inflation and the present universe. *Nuclear Physics B*, 252, 141-151.

Vilenkin, A. (1983b). The Birth of Inflationary Universes. *Physical Review D*, 27(12), 2848-2855.

Vilenkin, A. (1986). Boundary conditions in quantum cosmology. *Physical Review D*, 33, 3560-3569.

Vimalakirti (2000). *Soûtra de la liberté inconcevable*. Librairie Arthème Fayard.

Vivenza, J.-M. (2001). *Nâgârjuna et la doctrine de la vacuité*. Éditions Albin Michel.

Wainwright, J., Ellis, G. F. R. (eds.) (1997). *Dynamical Systems in Cosmology*. Cambridge University Press.

Wheeler, J. A. (1990). *A journey into gravity and spacetime*. Scientific American Library.

Wheeler, J. A. (1990). The Participatory Universe. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology*, M. Ito (Ed.), pp. 354-368.

Whitehead, A. N. (1995). *Procès et réalité. Essai de cosmologie*. Gallimard, Bibliothèque de Philosophie.

Xuan Thuan, T. (2011). *Le cosmos et le lotus. Confessions d'un astrophysicien*. Éditions Albin Michel.

Xuan Thuan, T. (2013). *Désir d'infini. Des chiffres, des univers et des hommes*. Librairie Arthème Fayard.

Xuan Thuan, T. (2016). *La plénitude du vide*. Éditions Albin Michel.

Yéshé, D. (2001). *Soûtra du diamant*. Librairie Arthème Fayard.

Yéshé, T. (2001). *La sagesse de la vacuité*. Éditions Découverte du Bouddhisme.

Zwirn, H. (2018). Le Monde existe-t-il ? Conférence. (https://youtu.be/XfxTATYprX0).

Éric Loonis est psychologue clinicien. Dans ce livre, il s'est aventuré du côté de la cosmologie.

Cet ouvrage traite des univers. Comment l'univers a-t-il pu être d'abord interprété, avant que d'être mesuré ? Quelles sont les conceptions plurielles de l'univers en tailles et en géométries ? N'y a-t-il qu'un seul univers ? Peut-on envisager un multivers ? Des multivers ? Un omnivers ? Comment l'entropie peut expliquer la conscience et le libre arbitre et définir un univers d'illusions ? Comment un modèle de fractale omniverselle remet en question la centralité de l'humain et son existence même ?

Illustrations en couleur.

ISBN 978-2493956118
90000
9 782493 956118